

## Pengukuran debit pada saluran terbuka menggunakan bangunan ukur tipe pelimpah atas





© BSN 2015

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN  
Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)  
[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta



## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata .....	iii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Pengukuran debit dengan ambang tajam segitiga .....	2
5 Pengukuran debit dengan ambang tajam persegi panjang .....	7
6 Pengukuran debit dengan ambang lebar.....	14
7 Pengukuran debit dengan lorong <i>Parshall</i> .....	17
8 Pengukuran debit dengan bangunan ujung hulu bulat ( <i>Romijn</i> ).....	25
9 Perlengkapan dan sarana penunjang.....	32
10 Cara pengukuran .....	33
11 Kalibrasi.....	34
Lampiran A Contoh perhitungan dan gambar ambang tajam segitiga (informatif) .....	36
Lampiran B Contoh perhitungan dan gambar ambang tajam persegi panjang (informatif) ...	38
Lampiran C Contoh perhitungan debit ambang lebar (informatif).....	40
Lampiran D Contoh perhitungan debit lorong <i>Parshall</i> (informatif).....	44
Lampiran E Contoh perhitungan debit bangunan ujung hulu bulat (informatif) .....	47
Bibliografi .....	49
 Gambar 1 - Skematisasi ambang tajam bentuk segitiga .....	 3
Gambar 2 – Sudut celah ambang tajam segitiga.....	4
Gambar 3 – Koreksi tinggi energi, $\delta H_t$ , untuk ambang tajam segitiga dengan berbagai keadaan sudut celah $\theta$ .....	5
Gambar 4 – Koefisien debit, $C_d$ ambang tajam segitiga untuk kondisi kontraksi penuh.....	6
Gambar 5 – Grafik koefisien debit, $C_d$ sebagai fungsi dari $h/p$ dan $p/B$ untuk ambang tajam segitiga dengan sudut tekukan $90^\circ$ .....	6
Gambar 6 – Skematisasi ambang tajam bentuk persegi panjang .....	7
Gambar 7 – Penyesuaian panjang efektif mercu ambang, $\delta L$ .....	10
Gambar 8 – Nilai Koefisien debit, $C_d$ ambang tajam empat persegi panjang .....	10
Gambar 9 - Contoh gambar dimensi ambang tajam persegi panjang .....	12
pada kondisi kontraksi penuh .....	12
Gambar 10 - Bentuk ambang lebar .....	15
Gambar 11 – Contoh gambar koefisien debit, $C$ ditentukan dari $h_1/p$ dan $h_1/L$ .....	17



Gambar 12	Dimensi lorong Parshall .....	20
Gambar A.1	– Contoh bentuk potongan saluran dan mercu pelat ambang.....	37
Gambar A.2	– Contoh rongga udara di bawah pelat ambang .....	37
Gambar B.1	– Contoh ambang tajam persegi panjang.....	39
Gambar C.1	– Grafik batas penyesuaian $S_1$ sebagai fungsi $h_1/L$ .....	43
Gambar D.1	– Contoh grafik koreksi debit lorong <i>Parshall</i> .....	46
Tabel 1	– Koreksi keadaan aliran tidak sempurna .....	4
Tabel 2	– Koreksi aliran tidak sempurna.....	9
Tabel 3	– Variasi C dengan $h_1/L$ .....	17
Tabel 4	– Dimensi lorong <i>Parshall</i> standar .....	18
Tabel 5	– Dimensi lorong <i>Parshall</i> besar .....	19
Tabel 6	– Karakteristik debit untuk Lorong <i>Parshall</i> standar .....	24
Tabel 7	– Karakteristik debit untuk Lorong <i>Parshall</i> besar .....	25





## Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang “Pengukuran debit pada saluran terbuka menggunakan bangunan ukur tipe pelimpah atas” merevisi 5 (lima) SNI sebagai berikut:

- 1) SNI 03-6455.1-2000, Metode pengukuran debit pada saluran terbuka dengan bangunan ukur *Parshall Flum* dan *Saniri Flum*.
- 2) SNI 03-6455.3-2000, Metode pengukuran debit pada saluran terbuka dengan bangunan ukur ambang lebar empat persegi.
- 3) SNI 03-6455.4-2000, Metode pengukuran debit pada saluran terbuka dengan ambang tajam segitiga.
- 4) SNI 03-6455.5-2000, Metode pengujian aliran pada saluran terbuka dengan bangunan ukur persegi panjang.
- 5) SNI 03-6467.1-2000, Metode pengukuran debit pada saluran terbuka dengan bangunan ukur ambang lebar horizontal dan ujung hulu bulat.

Penyusunan revisi ini dilakukan dengan cara melakukan beberapa perbaikan dan penambahan materi berdasarkan pengalaman yang telah dilaksanakan dan menyesuaikan format penulisan.

Standar ini dipersiapkan oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Sub Komite Teknis 91-01-S1 Sumber daya air pada gugus kerja Hidrologi, Hidraulika, Lingkungan, Air Tanah, dan Air Baku. Standar ini telah dibahas dalam rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 14 Oktober 2004 di Bandung, dan dikonsensuskan ulang pada tanggal 4 Nopember 2013 berdasarkan kajiulang tahun 2013, sekaligus menyesuaikan format penulisan sesuai dengan Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007, serta telah melalui proses jajak pendapat tanggal 18 Juli 2014 sampai 16 September 2014 dan perpanjangan sampai 16 Oktober 2014.



## Pengukuran debit pada saluran terbuka menggunakan bangunan ukur tipe pelimpah atas

### 1 Ruang lingkup

Standar ini menetapkan pelaksanaan pengukuran debit air pada saluran terbuka dengan menggunakan bangunan ukur jenis : Ambang Tajam Segitiga, Ambang Tajam Persegi Panjang, Ambang Lebar, Lorong *Parshall*, dan Ujung Hulu Bulat (*Romijn*).

Tata cara ini membahas persyaratan teknis, bentuk dan ukuran, karakteristik, cara pengukuran, peralatan, sarana penunjang serta langkah-langkah yang diperlukan dalam pelaksanaan pengukuran debit di atas.

### 2 Istilah dan definisi

#### 2.1

##### **aliran kritis**

kondisi aliran dengan besar energi spesifik minimum, dicirikan dengan nilai Bilangan *Froude* = 1 dan kecepatan serta kedalaman aliran yang terjadi pada kondisi tersebut disebut kecepatan dan kedalaman kritis

#### 2.2

##### **aliran subkritis**

kondisi aliran dengan kecepatan aliran lebih rendah dari kecepatan kritis dan dicirikan Bilangan *Froude*  $< 1$

#### 2.2

##### **aliran super kritis**

kondisi aliran dengan kecepatan aliran lebih tinggi dari pada kecepatan kritis dan dicirikan dengan nilai bilangan *Froude*  $> 1$

#### 2.4

##### **aliran tidak sempurna**

kondisi aliran melimpah melalui ambang yang tinggi muka air udiknya dipengaruhi oleh tinggi muka air di hilir

#### 2.5

##### **celah aliran**

bagian ambang ukur yang sengaja dibuat dengan bentuk tertentu agar terjadi kontraksi samping tempat aliran air yang melimpas dapat diukur dengan lebih teliti

#### 2.6

##### **debit**

volume air yang mengalir melalui penampang melintang tertentu per satuan waktu

#### 2.7

##### **loncatan air**

kondisi aliran yang tidak stabil dan terjadi akibat perubahan mendadak dari aliran super kritis ke subkritis

#### 2.8

##### **mercu ambang ukur**



bagian sisi puncak ambang pelimpah ukur

## 2.9

### muka air hilir

ketinggian muka air pada lokasi di hilir ambang pelimpah ukur

## 2.10

### nappe

garis arus aliran yang melimpah dari ambang

## 2.11

### pelampung duga air

sebuah pelampung yang dapat bergerak mengikuti muka air dan berfungsi untuk mengukur kedalaman aliran di atas ambang ukur

## 2.12

### pengukuran debit

proses mengukur dan menghitung untuk mengetahui besar debit di saluran terbuka

## 2.12

### tabung pengukur muka air

sebuah bejana air dengan permukaan bebas kecil yang dihubungkan dengan bagian udik ambang ukur, sehingga pengukuran kedalaman (tinggi muka air) dapat dilakukan dengan lebih mudah karena air dalam keadaan lebih tenang

## 2.14

### tinggi muka air

ketinggian muka air pada suatu penampang saluran terhadap suatu titik rujukan tertentu

## 3 Pengukuran debit dengan ambang tajam segitiga

### 3.1 Ketentuan dan persyaratan

#### 3.1.1 Pertimbangan penggunaan

- a) Ambang tajam segitiga merupakan bangunan ukur sederhana yang dapat digunakan untuk mengukur debit aliran di saluran terbuka dengan mudah dan cukup teliti. Dengan menerapkan desain bentuk bagian limpasan yang tepat, berdasarkan hasil percobaan dapat ditentukan rentang besar debit pengukuran, yaitu sebagai berikut.
  - 1) Bentuk ambang dengan sudut celah  $\theta = 90^\circ$  atau  $\tan \frac{\theta}{2} = 1$ , mempunyai rentang debit pengukuran dari 0,802 l/s sampai dengan 122,940 l/s.
  - 2) Bentuk ambang dengan sudut celah  $\theta = 52,12^\circ$  atau  $\tan \frac{\theta}{2} = 0,5$ , mempunyai rentang debit pengukur dari  $0,406 \text{ l/s} \leq Q \leq 62,150 \text{ l/s}$ .
  - 3) Bentuk ambang dengan sudut celah  $\theta = 28,07^\circ$  atau  $\tan \frac{\theta}{2} = 0,25$ , mempunyai rentang debit pengukur dari  $0,215 \text{ l/s} \leq Q \leq 21,477 \text{ l/s}$ .
- b) Bangunan ukur ambang tajam baik untuk digunakan pada lokasi jika dimungkinkan untuk memperoleh perbedaan tinggi muka air udik dan hilir yang cukup sehingga kondisi aliran yang terjadi selalu aliran sempurna.

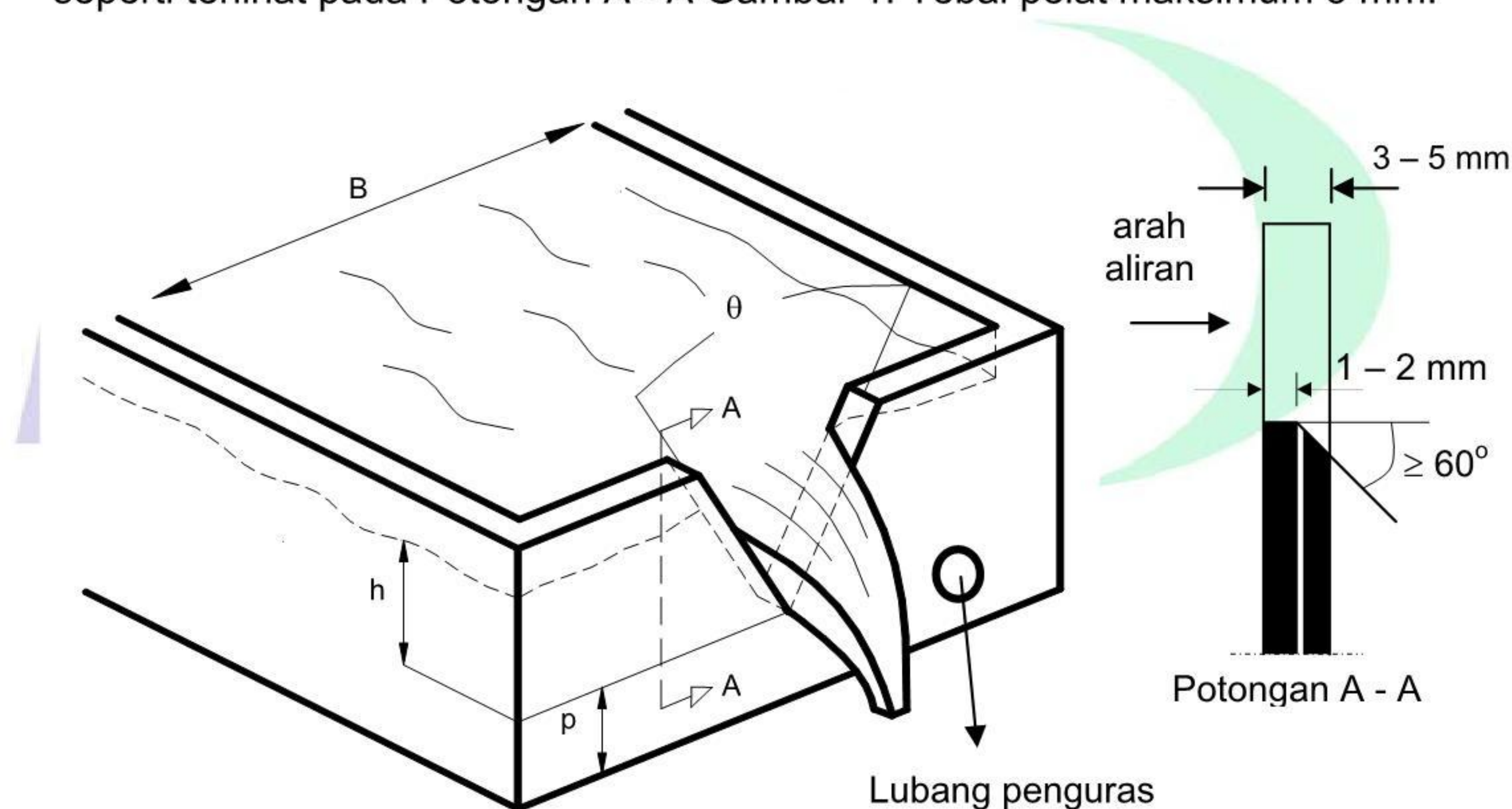


### 3.1.2 Bentuk ambang

Bentuk penampang ambang tajam yaitu pelimpah berbentuk segitiga. Selanjutnya bentuk penampang dapat diperhatikan pada Gambar 1 dan 2.

### 3.1.2 Ukuran pelat mercu ambang

- Ketebalan pelat mercu ambang pada arah aliran perlu didesain berkisar antara 1 mm sampai dengan 2 mm. Ketebalan minimum dibatasi untuk mengurangi potensi kerusakan, sedangkan ketebalan maksimum dibatasi untuk mendapatkan hasil pengukuran yang teliti.
- Pelat harus terbuat dari bahan logam atau bahan lain dengan kekuatan yang memadai dan dengan permukaan yang halus.
- Sudut di bagian limpasan harus tajam, rata, tidak kasar dan tegak lurus terhadap permukaan ambang.
- Pelat ambang tajam harus dipasang vertikal dan tegak lurus terhadap dinding saluran.
- Ambang tajam sebagai alat ukur harus terpasang dengan kuat pada saluran sehingga tidak terjadi kebocoran dan perlu dilengkapi dengan ruang olakan di bagian hilir.
- Jika pelat ambang lebih tebal dari 2 mm, kelebihan ketebalan bidang di bagian hilir sisi limpasan harus ditajamkan dengan besar sudut kemiringan sekurang-kurangnya  $60^\circ$ , seperti terlihat pada Potongan A - A Gambar 1. Tebal pelat maksimum 5 mm.



Keterangan:

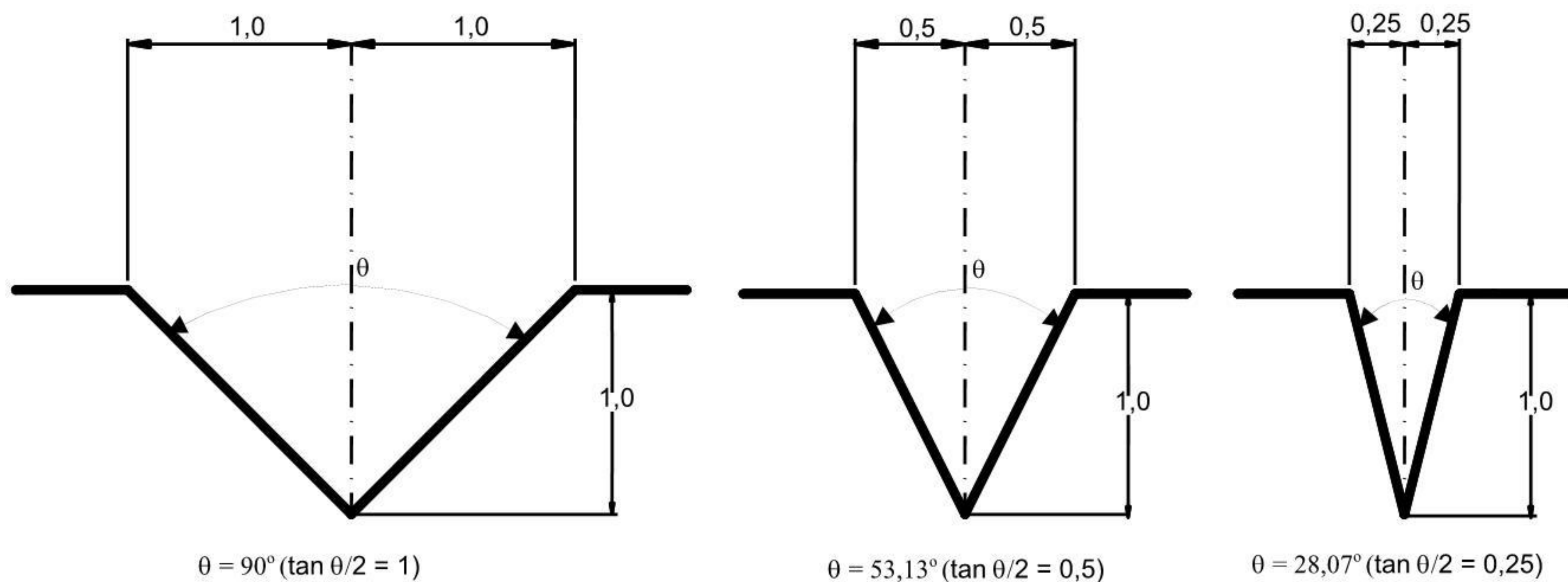
B adalah lebar saluran (m)

h adalah tinggi muka air yang terukur (m)

p adalah tinggi mercu di atas dasar saluran (m)

**Gambar 1 - Skematisasi ambang tajam bentuk segitiga**





Gambar 2 – Sudut celah ambang tajam segitiga

### 3.1.4 Persyaratan

- Kondisi ambang ukur dengan aliran terkontraksi sebagian sebaiknya hanya diterapkan pada sistem dengan saluran udik berbentuk persegi panjang.
- Karena data hasil kalibrasi pengaruh  $\frac{h}{p}$  dan  $\frac{p}{B}$  di laboratorium terhadap rumus-rumus debit pelimpah terbatas, pengukuran dengan kondisi aliran terkontraksi sebagian seyogianya hanya diterapkan pada ambang tajam segitiga dengan sudut  $\theta = 90^\circ$ .
- Ambang ukur debit dengan kondisi terkonsentrasi penuh dapat diterapkan pada sistem dengan saluran pendekat berbentuk bukan empat persegi panjang, dengan syarat luas penampang melintang saluran pendekat lebih besar daripada luas basah penampang empat persegi dengan kondisi aliran yang diuraikan pada Tabel 1.

Tabel 1 – Koreksi keadaan aliran tidak sempurna

Rasio Terendam $h/p$	$Q_s/Q$ 90° Tekukan segitiga
0	1,000
0,1	0,999
0,2	0,992
0,3	0,981
0,4	0,960
0,5	0,928
0,6	0,882
0,7	0,816
0,8	0,721
0,9	0,569



### 3.2 Pengukuran debit

#### 3.2.1 Rumus debit

Debit aliran yang melimpas di atas mercu ambang tajam segitiga yang didesain dengan memenuhi persyaratan yang tercantum pada Sub-Pasal 4.1 dan kondisi aliran menuju ambang ukur memenuhi persyaratan seperti diuraikan pada Sub-Pasal 6.1 dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$Q = \left( \frac{8}{15} \right) \sqrt{2g} \cdot C_d \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (H_{ef})^{5/2} \quad (1)$$

Keterangan:

Q adalah debit ( $m^3/s$ )

g adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$H_{ef}$  adalah tinggi energi efektif (m)

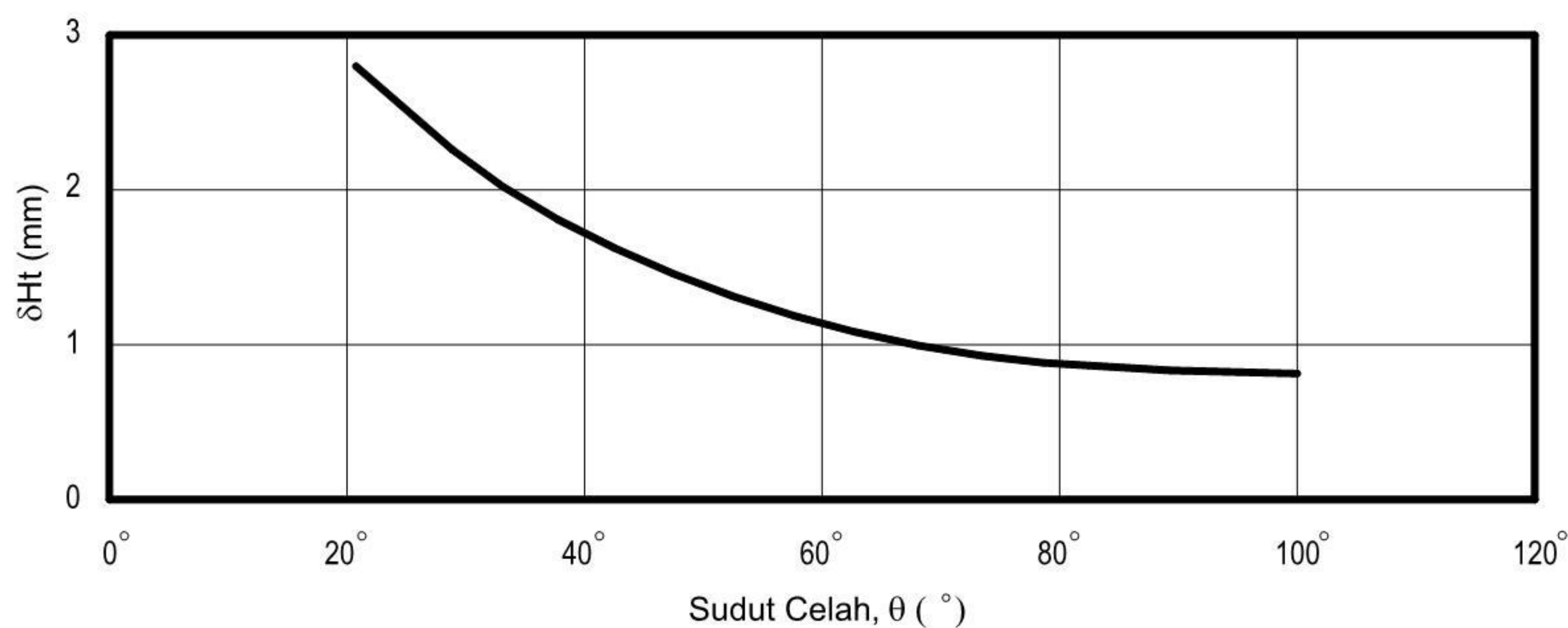
$C_d$  adalah koefisien debit

Tinggi energi efektif,  $H_{ef}$  diberikan oleh persamaan :

$$H_{ef} = h + \delta H_t \quad (2)$$

Keterangan:

$\delta H_t$  adalah koreksi pengaruh efek kombinasi dari viskositas dan tegangan permukaan untuk temperatur air  $4^\circ C \sim 20^\circ C$ , besar nilai  $\delta H_t$  untuk berbagai sudut celah diberikan pada Gambar 2.



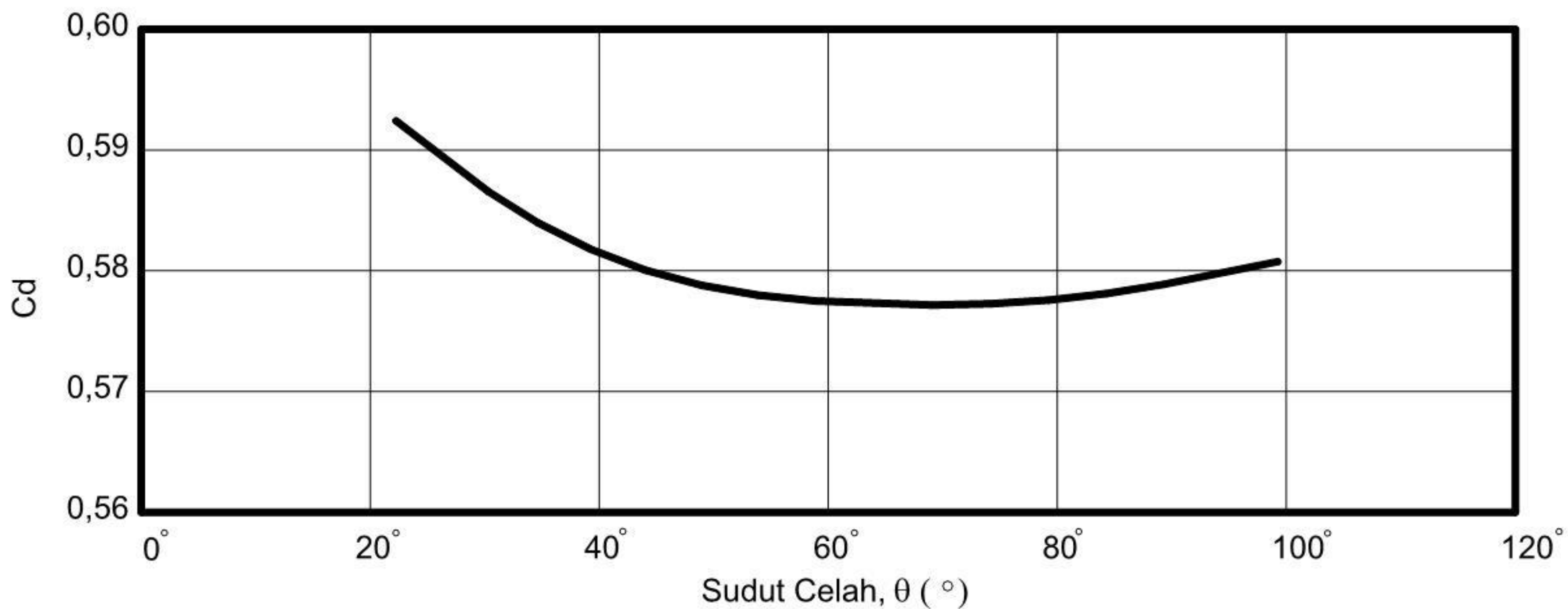
**Gambar 2 – Koreksi tinggi energi,  $\delta H_t$ , untuk ambang tajam segitiga dengan berbagai keadaan sudut celah  $\theta$**

Nilai koefisien debit efektif,  $C_{ef}$  merupakan fungsi dari tiga variabel  $\frac{h}{p}$ ,  $\frac{p}{b}$  dan  $\theta$ .

$$C_{ef} = f\left(\frac{h}{p}, \frac{p}{b}, \theta\right) \quad (2)$$

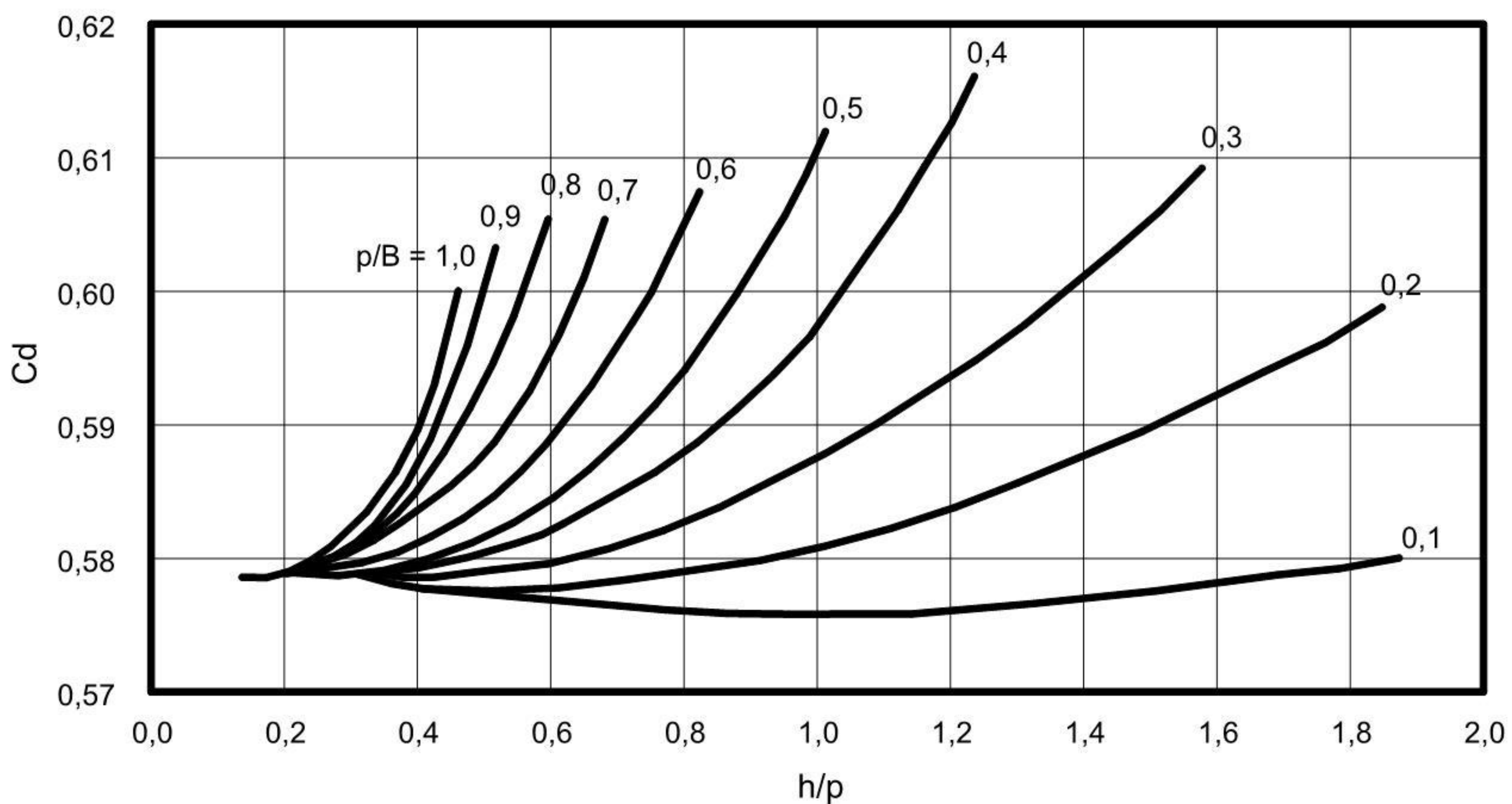


Bila kondisi aliran yang terjadi adalah kontraksi penuh, nilai koefisien debit efektif,  $C_{ef}$  hanya bergantung pada besar sudut celah ambang segitiga saja,  $\theta$ , sehingga nilai koefisien debit,  $C_d$ , untuk keadaan kontraksi penuh pada ambang tajam segitiga, ditentukan berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4 – Koefisien debit,  $C_d$  ambang tajam segitiga untuk kondisi kontraksi penuh**

Untuk kondisi aliran terkontraksi sebagian, nilai koefisien debit,  $C_d$  dapat ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 5. Grafik pada Gambar 5 hanya berlaku untuk  $\theta = 90^\circ$ .



**Gambar 5 – Grafik koefisien debit,  $C_d$  sebagai fungsi dari  $h/p$  dan  $p/B$  untuk ambang tajam segitiga dengan sudut tekukan  $90^\circ$**

### 3.2.2 Lokasi pengukuran muka air

Tinggi muka air udik,  $h$  diukur sebagai kedalaman di atas elevasi celah mercu bagian terendah. Pengukuran tinggi muka air udik harus dilakukan pada lokasi  $4h_{maks}$  sampai dengan  $5h_{maks}$  di udik ambang, dengan  $h_{maks}$  adalah tinggi muka air udik maksimum yang diizinkan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang teliti.



## 4 Pengukuran debit dengan ambang tajam persegi panjang

### 4.1 Ketentuan dan persyaratan

#### 4.1.1 Pertimbangan penggunaan

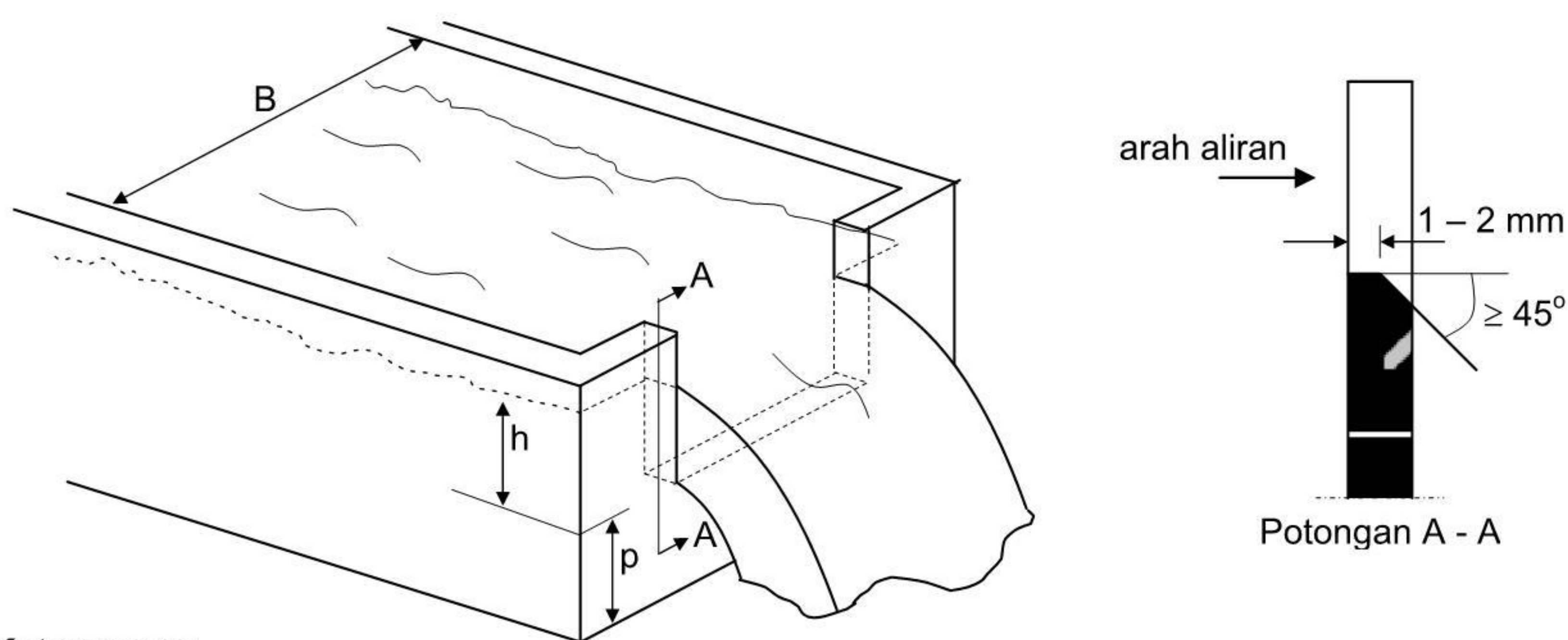
- Ambang tajam persegi panjang merupakan bangunan ukur sederhana yang dapat digunakan untuk mengukur debit aliran di saluran terbuka dengan mudah dan cukup teliti. Dengan menerapkan desain bentuk bagian limpasan yang tepat berdasarkan hasil percobaan, dapat ditentukan rentang besar debit pengukuran 0,22 l/s sampai dengan 1400 l/s.
- Alat ukur debit ambang tajam baik untuk digunakan pada lokasi yang dimungkinkan untuk memperoleh perbedaan tinggi muka air udik dan hilir yang cukup sehingga kondisi aliran yang terjadi selalu aliran sempurna.

#### 4.1.2 Bentuk ambang

Bentuk penampang pelimpah aliran dari ambang tajam adalah empat persegi panjang. Bentuk penampang ini selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 6.

#### 4.1.3 Ukuran pelat

- Ketebalan pelat mercu ambang pada arah aliran perlu didesain berkisar antara 1 mm sampai dengan 2 mm. Ketebalan minimum dibatasi untuk mengurangi potensi kerusakan, sedang ketebalan maksimum dibatasi untuk mendapatkan hasil pengukuran yang teliti. Pelat dengan ketebalan lebih dari 2 mm harus terbuat dari logam dengan permukaan yang halus atau bahan lain dengan kekuatan yang memadai dan halus. Sudut di bagian udik limpasan harus tajam dan rata, tidak kasar dan tegak lurus terhadap permukaan ambang.
- Bidang pelat ambang tajam harus vertikal dan tegak lurus terhadap dinding saluran.
- Ambang tajam sebagai alat ukur harus terpasang dengan kuat pada saluran sehingga tidak terjadi kebocoran di sekelilingnya dan perlu dilengkapi dengan ruang olakan di bagian hilir.
- Jika pelat lebih tebal dari 2 mm, kelebihan ketebalan bidang di bagian hilir sisi limpasan harus ditajamkan dengan besar sudut sekurang-kurangnya  $45^\circ$  dan kelebihan ketebalan tersebut dibatasi hingga 2 mm seperti terlihat pada Potongan A-A, Gambar 6.



#### Keterangan:

- B adalah lebar saluran (m)  
h adalah tinggi muka air yang terukur (m)  
p adalah tinggi mercu di atas dasar saluran (m)

**Gambar 6 – Skematisasi ambang tajam bentuk persegi panjang**



#### 4.1.4 Persyaratan

Pemakaian metode ini harus memperhitungkan adanya kontraksi aliran pada ambang. Kontraksi pada ambang sengaja dibuat dengan cara menyusun tata letak tembok sisi dan dasar saluran pengarah cukup jauh dari sisi-sisi dan mercu ambang sedemikian, sehingga terbentuk kondisi aliran yang terkontraksi penuh dengan aerasi yang sempurna sehingga aliran yang terjadi tenang dan tidak terpengaruh oleh kondisi di udik dan dasar saluran. Jika jarak antara sisi ambang terhadap dasar atau dinding sisi atau kedua-duanya tidak cukup jauh, maka aliran hanya berkontraksi sebagian dan kondisi ini akan menghasilkan pengukuran yang kurang tepat.

Persyaratan kontraksi dapat diuraikan sebagai berikut.

- a) Ambang lebar penuh, yaitu kondisi yang lebar ambang pelimpah ukurnya diambil selebar saluran. Jika kondisi ini yang digunakan, panjang dinding saluran harus dibuat dengan lebar yang sama sehingga minimum  $0,2 H$  ke hilir lokasi ambang.
- b) Ambang empat persegi panjang dengan kontraksi penuh jika kondisi-kondisi berikut terpenuhi:

- 1)  $\frac{h}{p} \leq 0,5$

- 2)  $\frac{h}{b} \leq 0,5$

- 2)  $0,08 \text{ m} \leq h \leq 0,6 \text{ m}$

- 4)  $b \geq 0,2 \text{ m}$

- 5)  $p \geq 0,2 \text{ m}$

- 6)  $\frac{(B - b)}{2} \geq 2 h$

Keterangan:

$h$  adalah tinggi muka air yang terukur (m)

$p$  adalah tinggi mercu di atas dasar saluran (m)

$b$  adalah lebar mercu (m)

$B$  adalah lebar saluran (m)

Untuk pengukuran pada kondisi aliran tidak sempurna diperlukan data tambahan yaitu tinggi muka air relatif terhadap mercu yang diukur di bagian hilir ambang, sehingga tingkat redaman, yaitu perbandingan tinggi muka air bagian hilir terhadap tinggi muka air udik dapat ditentukan. Pengukuran tinggi muka air hilir harus dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak terpengaruh oleh gangguan-gangguan yang terjadi di bagian hilir limpasan.

Besar rasio debit aliran tidak sempurna terhadap debit pada kondisi aliran sempurna,  $Q_s/Q$ , dengan  $Q$  adalah perkiraan debit yang mengalir jika keadaan aliran yang terjadi sempurna, dan  $Q_s$  adalah debit yang terukur pada kondisi aliran tidak sempurna. Besar  $Q$  dihitung berdasarkan tinggi muka air udik dengan anggapan bahwa aliran yang terjadi adalah aliran sempurna, dapat diperoleh dari Tabel 2.

Perlu diingat bahwa Tabel 2 dibuat berdasarkan pada percobaan dengan kondisi yang sangat terbatas. Untuk ambang persegi panjang, ketelitian yang diberikan hanya berkisar

95% untuk harga  $\frac{h}{p}$  yang rendah.



Tabel 2 – Koreksi aliran tidak sempurna

Rasio Redaman	Qs/Q
0	1,000
0,1	1,007
0,2	0,978
0,2	0,929
0,4	0,895
0,5	0,842
0,6	0,778
0,7	0,698
0,8	0,589
0,9	0,425

## 6.2 Pengukuran debit

### 6.2.1 Rumus debit dan batasan penerapan

Debit aliran yang melimpas di atas mercu ambang tajam empat persegi panjang yang didesain dengan memenuhi persyaratan yang tercantum pada Sub Pasal 5.1 dan kondisi aliran menuju alat seperti yang diuraikan pada Sub Pasal 5.2 dapat dihitung dengan beberapa persamaan berikut.

#### a) Aliran tanpa kontraksi ambang

- 1) Rumus debit ambang tajam persegi panjang *Kinsvater – Carter* (Rumus dasar) :

$$Q = \left( \frac{2}{3} \right) \sqrt{2g} C_d \cdot b_a (h_{ef})^{3/2} \quad (4)$$

keterangan:

$g$  adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h_{ef}$  adalah tinggi muka air (m)

$b_a$  adalah panjang bentang mercu ambang efektif (m)

$C_d$  adalah koefisien debit (-)

Tinggi muka air efektif,  $h_{ef}$  dihitung berdasarkan muka air terukur,  $h$  dengan persamaan :

$$h_{ef} = h + \delta h \quad (5)$$

Keterangan:

$\delta h$  adalah kondisi yang terkait dengan kekentalan fluida dan tegangan permukaan yang ditentukan berdasarkan hasil penyelidikan di laboratorium. Untuk air pada suhu normal, 4 – 20°C, nilai koreksi ini dapat diambil tetap sebesar 0,001 m.

Panjang bentang mercu aktual,  $b_a$  dihitung berdasarkan panjang terukur,  $b$  menggunakan rumus :

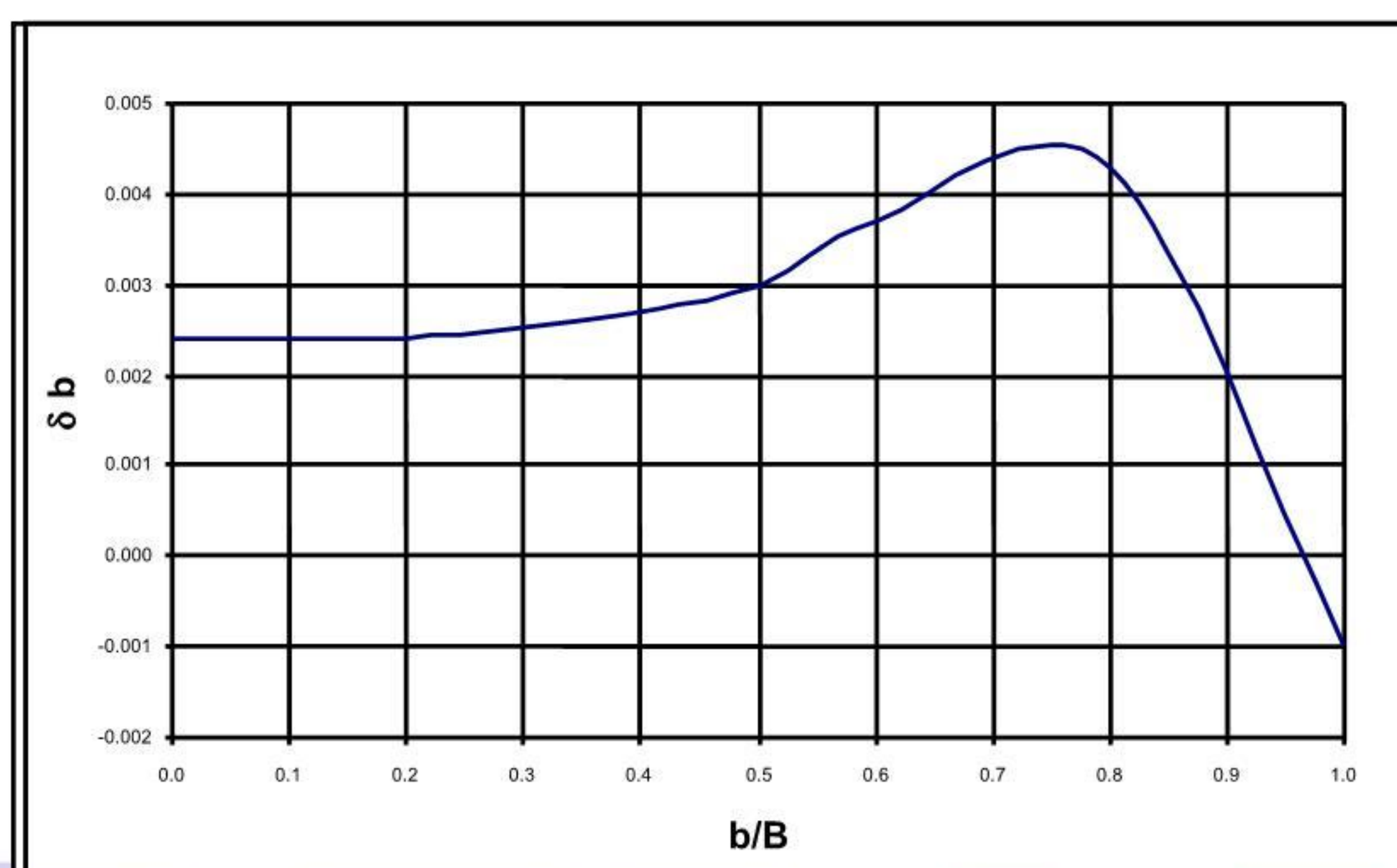
$$b_a = b + \delta b \quad (6)$$



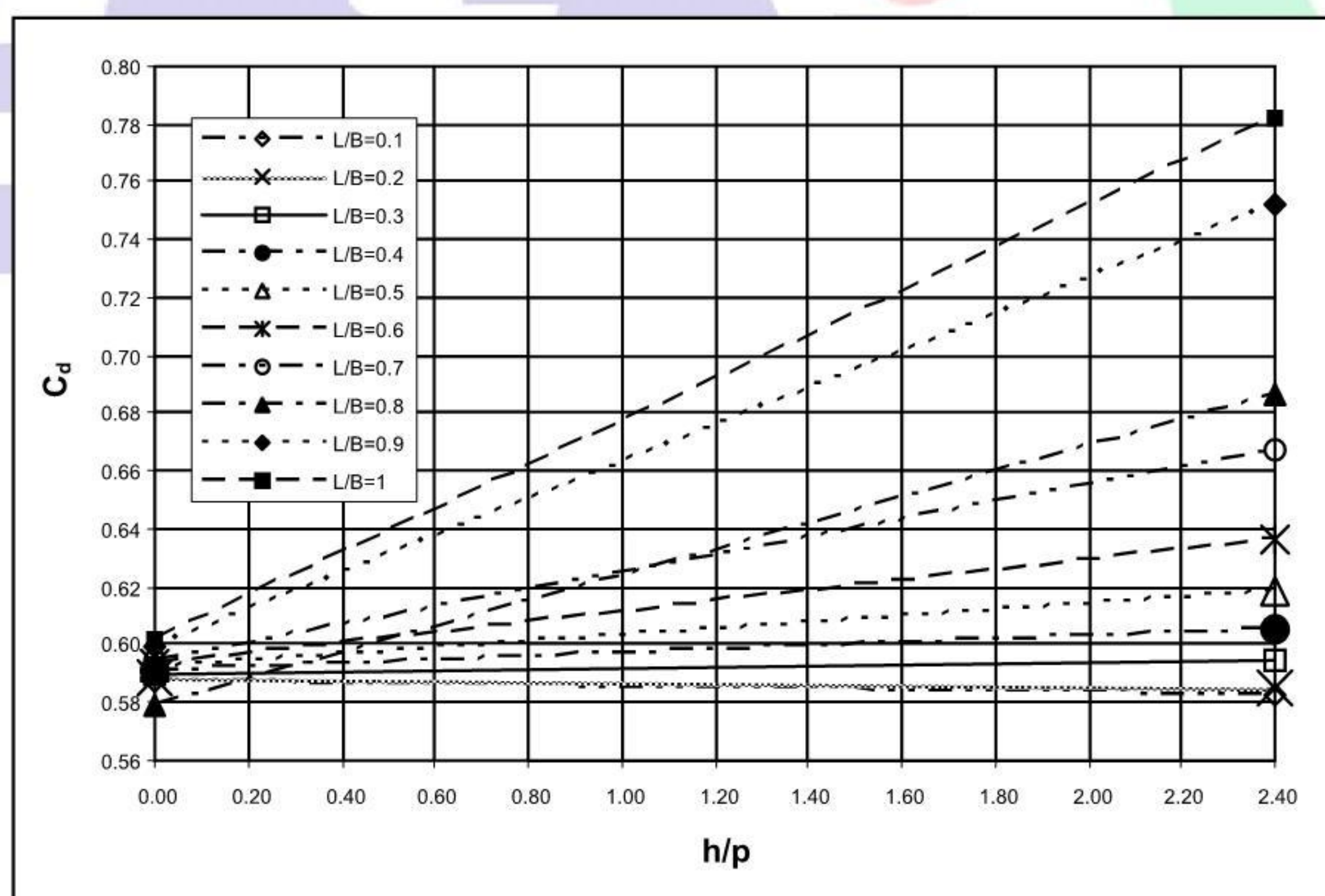
**Keterangan:**

$\delta b$  adalah faktor koreksi yang merupakan fungsi  $\frac{b}{B}$ . Untuk kondisi suhu air normal, harga  $\delta b$  dapat ditentukan berdasarkan Gambar 7.

Nilai koefisien debit,  $C_d$  dapat ditentukan berdasarkan harga  $\frac{h}{p}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 7 – Penyesuaian panjang efektif mercu ambang,  $\delta L$**



**Gambar 8 – Nilai Koefisien debit,  $C_d$  ambang tajam empat persegi panjang**

Batasan penerapan untuk Rumus *Kinsvater – Carter* :

- (1)  $\frac{h}{p} < 2,0$
- (2)  $h > 0,02 \text{ m}$
- (2)  $b > 0,15 \text{ m}$
- (4)  $p > 0,1 \text{ m}$



Secara prinsip, persamaan 1 dapat juga diterapkan pada ambang yang cukup panjang. Namun demikian, persamaan tersebut dihasilkan berdasarkan hasil percobaan dengan kondisi panjang bentang mercu  $\leq 1,2$  m dan tinggi aliran di atas mercu,  $h \cong 0,6$  m. Penggunaan persamaan tersebut dianjurkan hanya untuk kisaran nilai-nilai tersebut.

- 2) Rumus debit ambang tajam persegi panjang *Rehbock* (yang umum digunakan) :

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} (0,602 + 0,0822 \frac{h}{p}) b (h + 0,00125)^{2/2} \quad (7)$$

Keterangan:

g adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

h adalah tinggi muka air (m)

b adalah panjang bentang mercu ambang (m)

p adalah tinggi mercu di atas dasar saluran (m)

Batasan penerapan untuk Rumus *Rehbock* :

- (1)  $\frac{h}{p} < 1,0$
- (2)  $0,02 \text{ m} < h < 0,75 \text{ m}$
- (2)  $b > 0,2 \text{ m}$
- (4)  $p > 0,2 \text{ m}$

- 2) Rumus debit ambang tajam persegi panjang *Francis* :

$$Q = 0,587 \sqrt{g \cdot b} \left( \left[ h + \frac{v^2}{2g} \right]^{2/2} - \left[ \frac{v^2}{2g} \right]^{2/2} \right) \quad (8)$$

Keterangan:

g adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

h adalah tinggi muka air (m)

b adalah panjang bentang mercu ambang (m)

v adalah kecepatan air di udik ambang (m/s)

- 4) Rumus debit ambang tajam persegi panjang *Swiss S.I.A* :

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \left( 0,615 + \frac{0,000615}{h + 0,0016} \right) \left( 1 + 0,5 \left[ \frac{h}{h + p} \right]^2 \right) (b h^{2/2}) \quad (9)$$

Keterangan:

g adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

h adalah tinggi muka air (m)

b adalah panjang bentang mercu ambang (m)

p adalah tinggi mercu di atas dasar saluran (m)

Batasan penerapan untuk Rumus *Swiss S.I.A* :

- (1)  $\frac{h}{p} < 1,0$
- (2)  $0,025 \text{ m} < h < 0,8 \text{ m}$
- (2)  $b > 0,2 \text{ m}$
- (4)  $p > 0,2 \text{ m}$

- 5) Rumus debit ambang tajam persegi panjang *I.M.F.T (Institut de Mecanique des Fluides de Toulouse)* :



$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2} (0,627 + 0,018 \frac{h}{p}) b \sqrt{g} h^{2/2} \quad (10)$$

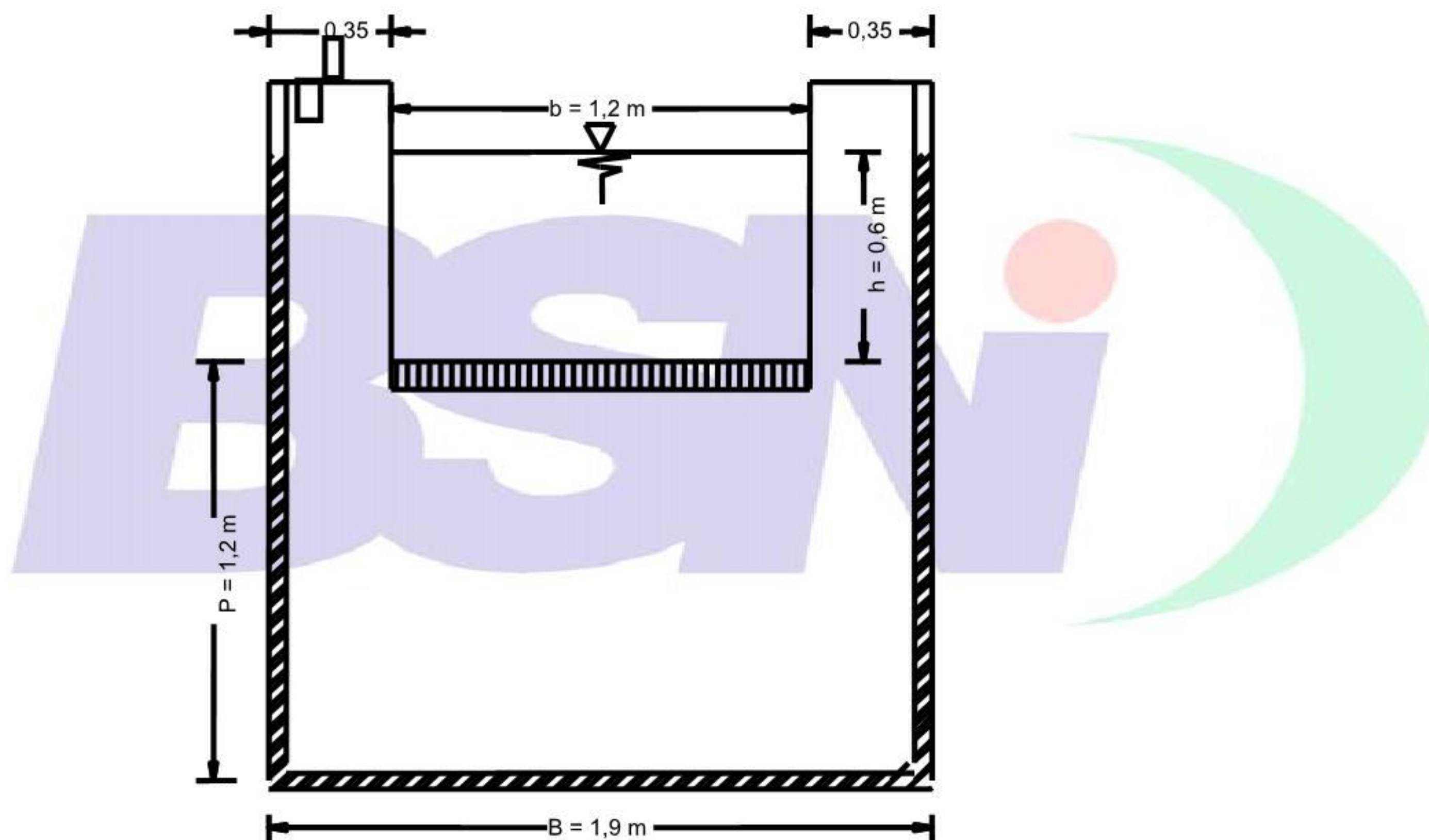
**Keterangan:**

- g adalah percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )  
h adalah tinggi muka air (m)  
b adalah panjang bentang mercu ambang (m)  
p adalah tinggi mercu di atas dasar saluran (m)

Batasan penerapan untuk Rumus *I.M.F.T* :

- (1)  $\frac{h}{p} < 2,5$   
(2)  $h > 0,02 \text{ m}$   
(2)  $b > 0,2 \text{ m}$   
(4)  $p > 0,1 \text{ m}$

**b) Aliran dengan kontraksi penuh**



**Gambar 9 - Contoh gambar dimensi ambang tajam persegi panjang pada kondisi kontraksi penuh**



- 1) Rumus debit ambang tajam persegi panjang *Hemilton Smith* :

$$Q = 0,581 \left(1 - 0,1 \frac{H'}{b}\right) b \sqrt{g} H'^{2/2} \quad (11)$$

$$H' = h + 1,4 \frac{v^2}{2g} \quad (12)$$

Keterangan:

g adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

h adalah tinggi muka air (m)

H' adalah tinggi tekanan hidraulik terkontraksi (m)

v adalah kecepatan air di udik ambang (m/s)

b adalah panjang bentang mercu ambang (m)

p adalah tinggi mercu di atas dasar saluran (m)

Batasan penerapan untuk Rumus *Hemilton Smith* :

- (1) Pengukuran muka air udik, h dilakukan pada lokasi  $\geq 2 h$  di udik ambang

(2)  $\frac{h}{p} < 0,5$

(2)  $\frac{h}{L} > 0,5$

(4)  $0,075 \text{ m} < h < 0,60 \text{ m}$

(5)  $b > 0,2 \text{ m}$

(6)  $p > 0,2 \text{ m}$

- 2) Rumus debit ambang tajam persegi panjang *Kinsvater – Carter* :

$$Q = 0,554 \left(1 - 0,0025 \frac{h}{p}\right) (b + 0,0025) \sqrt{g} (h + 0,001)^{2/2} \quad (12)$$

Keterangan:

g adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

h adalah tinggi muka air (m)

b adalah panjang bentang mercu ambang (m)

p adalah tinggi mercu di atas dasar saluran (m)

Batasan penerapan untuk Rumus *Kinsvater – Carter* :

(1)  $\frac{b}{B} \geq 0,2$

(2)  $\frac{h}{p} < 2$

(2)  $h > 0,02 \text{ m}$

(4)  $b > 0,15 \text{ m}$

(5)  $p > 0,1 \text{ m}$

## 6.2.2 Lokasi pengukuran muka air

Tinggi muka air udik, h diukur sebagai kedalaman di atas elevasi mercu. Pengukuran tinggi muka air udik harus dilakukan pada lokasi  $4h_{maks}$  sampai dengan  $5h_{maks}$  di udik ambang,



dengan  $h_{\text{maks}}$  adalah tinggi muka air udik maksimum yang diizinkan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang teliti.

## 7 Pengukuran debit dengan ambang lebar

### 7.1 Ketentuan dan persyaratan

#### 7.1.1 Bentuk ambang

Bangunan ukur tipe ini mempunyai pelimpah ukur aliran jenis ambang lebar berbentuk empat persegi. Selanjutnya bentuk penampang dapat diperhatikan pada Gambar 10.

#### 7.1.2 Ukuran ambang

Mercu ambang standar harus rata dan halus, horizontal, permukaan empat persegi yang rata. Lebar mercu dalam arah tegak lurus terhadap arah aliran diambil sama dengan lebar saluran tempat ambang. Ujung udik dan hilir harus licin, permukaan rata, dengan tembok sisi tegak lurus terhadap dasar saluran lokasi ambang.

Bentuk ambang dapat diperhatikan pada Gambar 10.

#### 7.1.2 Pertimbangan penggunaan

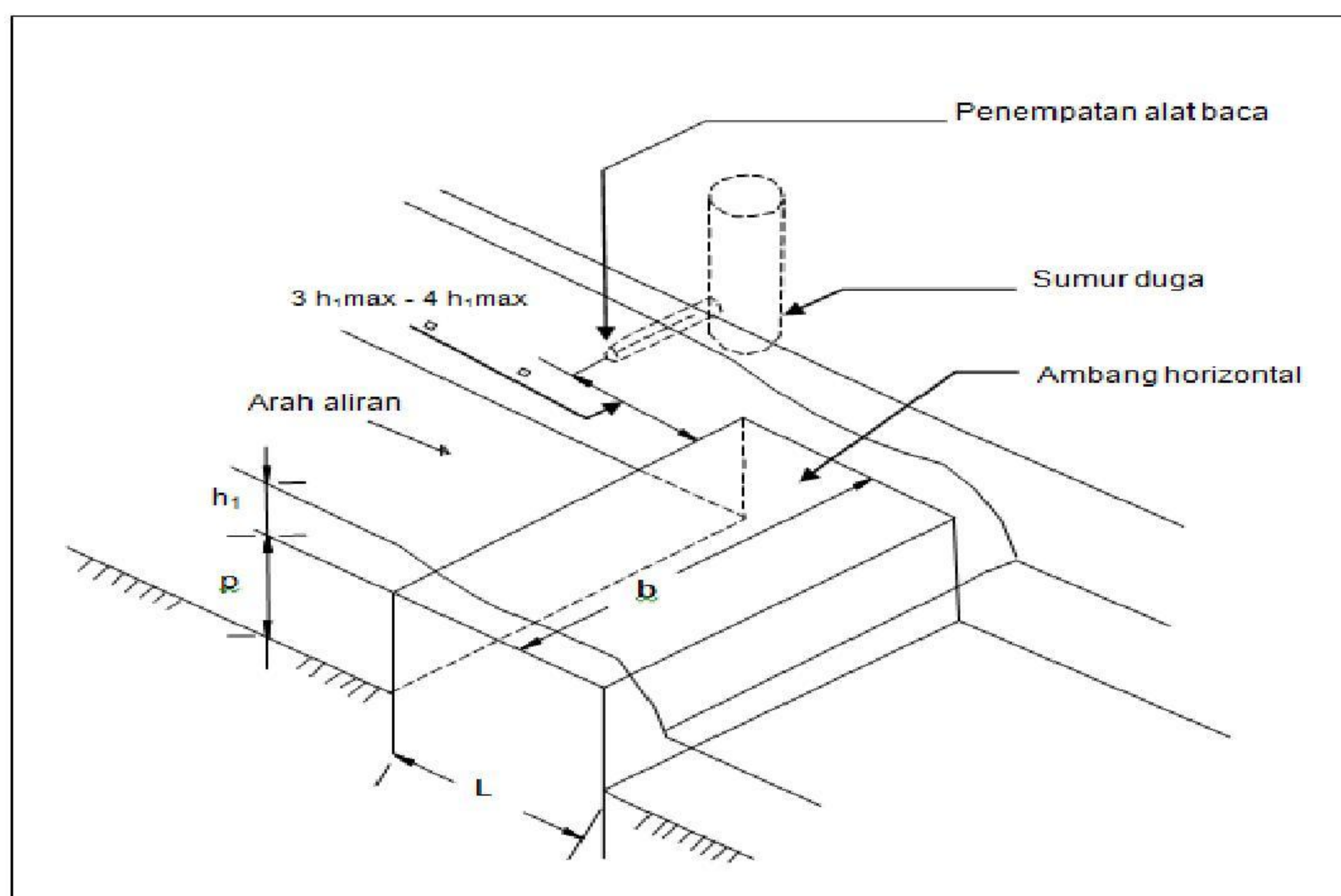
- Ambang lebar merupakan alat ukur debit sederhana dengan potensi pengukuran debit yang cukup teliti. Pembuatan bangunan, pengoperasian dan pemeliharannya relatif mudah.
- Bangunan ukur ambang lebar digunakan pada lokasi jika diperoleh perbedaan tinggi muka air yang cukup sehingga diperoleh sifat aliran sempurna.
- Ambang lebar hanya dapat digunakan untuk aliran pada saluran terbuka.

#### 7.1.4 Persyaratan

- Pada saluran alami atau sungai, lokasi bangunan dipilih pada penampang melintang yang teratur, seragam, dengan panjang bagian saluran yang lurus sekitar 5 kali lebar muka air. Hal ini diperlukan untuk menjamin keteraturan distribusi kecepatan.
- Pada saluran buatan, penampang melintang harus seragam dan lurus, dengan panjang bagian lurus minimum 10 kali lebar muka air.
- Bila saluran menuju bangunan ukur melalui belokan, penampang mengecil atau bersudut, diperlukan saluran pengarah yang lebih panjang untuk penyesuaian distribusi kecepatan.
- Sirip-sirip pengarah aliran tidak boleh diletakkan pada jarak lebih dekat 10 kali tinggi tekan maksimum.
- Dalam kondisi tertentu, gelombang muka air dapat terjadi di udik alat duga air, misalnya bila saluran pengarah curam. Pada kondisi ini pengukuran aliran dilakukan pada jarak tidak kurang dari 20 kali tinggi tekan maksimum di udik bangunan ukur, dengan tujuan untuk mendapatkan penyebaran kecepatan yang seragam di lokasi pengukuran dan dengan nilai bilangan *Froude* di lokasi tersebut kurang dari 0,2. Bilangan *Froude* =

$$\frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$





Gambar 10 - Bentuk ambang lebar

## 7.2 Rumus debit dan batasan penggunaan

### 7.2.1 Rumus debit

Pengukuran debit yang melimpas di atas mercu ambang lebar didasarkan pada pengukuran tinggi tekan hidrolik.

Rumus debit yang digunakan adalah :

$$Q = \left( \frac{2}{3} \right)^{3/2} \sqrt{g \cdot b \cdot C} h_1^{3/2} = 1,705 b \cdot C h_1^{3/2} \quad (14)$$

Keterangan:

- Q adalah debit aliran;  $m^3/s$
- g adalah percepatan gravitasi;  $m/s^2$
- b adalah lebar ambang tegak lurus arah aliran ; m
- C adalah koefisien pengaliran debit
- $h_1$  adalah tinggi tekan hidrolik di udik, terhadap elevasi ambang; m.

Koefisien pengaliran debit, C, merupakan fungsi dan dapat diperoleh dari grafik  $h_1/L$  dan  $h_1/p$  pada Gambar 11 dan Tabel 2 L adalah panjang ambang dalam arah aliran dan p adalah tinggi ambang dari dasar saluran pengarah.

Nilai tengah-tengah, C, didapat dengan interpolasi linier. Nilai koefisien debit, C, akan tetap sebesar 0,85 untuk  $0,1 \leq h_1/L \leq 0,2$  dan  $h_1/p < 0,15$ .

Dasar variasi C dengan  $h_1/L$ , perbedaan dapat dibuat menurut tipe-tipe aliran seperti dipersentasikan pada Gambar 11 sebagai berikut:

- a) Aliran di atas ambang lebar;  $0,1 \leq h_1/L < 0,4$ , aliran melintas ambang adalah paralel terhadap sebagian mercu ambang;
- b) Aliran di atas ambang pendek;  $0,4 < h_1/L < 1,6$ ; aliran seluruhnya lengkung.

### 7.2.2 Batasan penerapan

Batasan-batasan yang perlu diperhatikan untuk menghindari hal-hal yang dapat mempengaruhi ketelitian pengukuran :



- a) Untuk menghindari tegangan permukaan dan pengaruh kekentalan:  $h_1 \geq 0,06$  m,  $b \geq 0,20$  m dan  $p \geq 0,15$  m
- b) Kalibrasi hasil pengukuran dilakukan pada batasan :  $0,1 < L/p < 4,0$  dan  $0,1 < h_1/L < 1,6$
- c) Untuk menghindari ketidakstabilan muka air, perlu dibatasi kondisi pengukuran :  $h_1/p < 1,6$

Pembatasan harus dibuat antara koefisien debit dan koefisien debit total

- a) Koefisien debit ditentukan dengan :

$$C = \frac{Q}{\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} g^{1/2} b h_1^{3/2}} = \frac{Q}{1.705 b h_1^{3/2}} \quad (15)$$

- b) Koefisien debit total ditentukan dengan :

$$C_D = \frac{Q}{\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} g^{1/2} b C_V h_1^{3/2}} = \frac{Q}{1.705 b C_V h_1^{3/2}} \quad (16)$$

$C_V$  adalah faktor kecepatan mengoreksi pengukuran tinggi tekan yang hilang, yang didapat dari :

$$C_V = \left(\frac{H_1}{h_1}\right)^{3/2} \quad (17)$$

$H_1$  adalah tinggi tekan di atas mercu ambang, dengan :

$$H_1 = h_1 + \frac{v_1^2}{2g} \quad (18)$$

$v_1$  adalah kecepatan rata-rata dalam saluran menuju mercu ambang pengarah. Elevasi maksimum  $h_1$  dapat diukur di saluran pengarah. Selanjutnya koefisien  $C$  dapat ditentukan berdasarkan hubungan :

$$C = C_D \cdot C_V \quad (19)$$

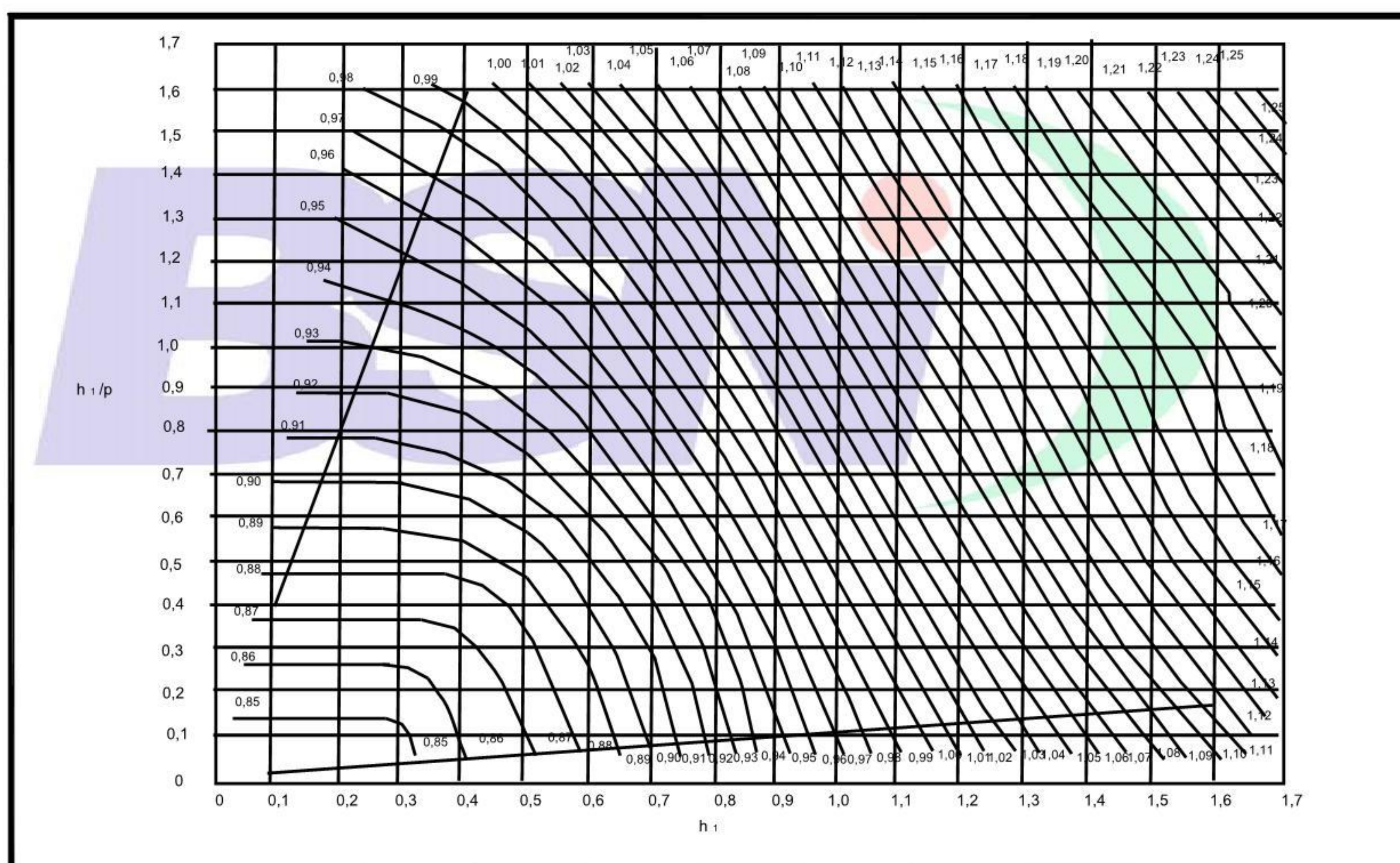
### 7.2.3 Lokasi pengukuran muka air

Tinggi muka air,  $h_1$ , diukur sebagai kedalaman di atas elevasi mercu. Pengukuran harus dilakukan pada lokasi di bagian udik ambang dengan jarak yang sama dengan  $2h_{maks}$  sampai dengan  $4h_{maks}$ , dengan  $h_{maks}$  merupakan tinggi muka air udik maksimum.



Tabel 2 – Variasi C dengan  $h_1/L$ 

$h_1/p$	Untuk nilai $h_1/L$																	
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
0,1	0,850	0,850	0,850	0,861	0,870	0,885	0,893	0,925	0,948	0,971	0,993	1,016	1,039	1,062	1,085	1,108	1,130	1,148
0,2	0,855	0,855	0,855	0,864	0,874	0,888	0,907	0,930	0,954	0,977	1,001	1,026	1,050	1,074	1,096	1,120	1,142	1,159
0,3	0,864	0,864	0,864	0,863	0,879	0,894	0,913	0,936	0,961	0,986	1,011	1,037	1,061	1,085	1,110	1,132	1,152	1,169
0,4	0,873	0,873	0,873	0,874	0,885	0,901	0,920	0,945	0,969	0,995	1,021	1,047	1,072	1,097	1,122	1,144	1,163	1,180
0,5	0,882	0,882	0,882	0,893	0,894	0,909	0,929	0,954	0,978	1,005	1,032	1,057	1,083	1,109	1,133	1,154	1,173	1,188
0,6	0,892	0,892	0,892	0,894	0,904	0,920	0,941	0,964	0,990	1,016	1,043	1,067	1,094	1,120	1,143	1,164	1,182	1,195
0,7	0,901	0,901	0,901	0,906	0,916	0,932	0,952	0,975	1,000	1,026	1,052	1,077	1,104	1,129	1,152	1,171	1,183	1,203
0,8	0,911	0,911	0,912	0,916	0,926	0,942	0,962	0,985	1,010	1,036	1,062	1,086	1,112	1,136	1,153	1,176	1,194	1,209
0,9	0,921	0,921	0,922	0,926	0,936	0,952	0,972	0,996	1,021	1,046	1,072	1,096	1,120	1,143	1,163	1,181	1,199	1,214
1,0	0,929	0,929	0,931	0,936	0,946	0,962	0,982	1,006	1,031	1,056	1,081	1,106	1,128	1,150	1,169	1,187	1,204	1,220
1,1	0,935	0,937	0,940	0,946	0,960	0,972	0,993	1,017	1,042	1,066	1,092	1,115	1,138	1,159	1,177	1,195	1,212	1,228
1,2	0,941	0,944	0,949	0,956	0,966	0,992	1,004	1,028	1,053	1,077	1,103	1,126	1,148	1,168	1,186	1,204	1,222	1,237
1,3	0,946	0,951	0,957	0,966	0,977	0,993	1,016	1,040	1,063	1,089	1,114	1,136	1,158	1,178	1,196	1,214	1,232	1,250
1,4	0,953	0,959	0,967	0,975	0,986	1,005	1,028	1,050	1,075	1,101	1,124	1,147	1,168	1,187	1,206	1,224	1,244	1,266
1,5	0,961	0,968	0,975	0,984	0,997	1,018	1,040	1,061	1,086	1,111	1,134	1,155	1,176	1,196	1,215	1,235	1,258	1,277
1,6	0,972	0,978	0,985	0,994	1,010	1,030	1,050	1,073	1,096	1,119	1,142	1,164	1,184	1,204	1,224	1,245	1,268	1,289

Gambar 11 – Contoh gambar koefisien debit, C ditentukan dari  $h_1/p$  dan  $h_1/L$ 

## 8 Pengukuran debit dengan lorong *Parshall*

### 8.1 Ketentuan dan persyaratan

#### 8.1.1 Bentuk Lorong *Parshall*

Lorong *Parshall* berbentuk penampang melintang empat persegi, terdiri atas masukan yang menyempit, leher saluran dan pengeluaran yang melebar (dipersentasikan pada Gambar 12), Lantai pemasukan datar arah memanjang dan ke arah samping. Tembok sisi vertikal pada sudut tetap  $11^{\circ}19'$  atau mempunyai penyempitan 1 : 5 terhadap sumbu *flume*.



### 8.1.2 Dimensi lorong Parshall

Lorong *Parshall* mempunyai bentuk tertentu yang secara geometrik antara satu dengan lainnya tidak sama. Panjang leher saluran, tinggi puncak dan panjang bagian luar tetap konstan untuk beberapa flume, sementara dimensi lain sebagai fungsi lebar leher saluran; dimensi lain dapat ditentukan secara analitis. Oleh sebab itu, penggunaan dan pembangunan flume harus sesuai dengan dimensi-dimensi yang ditentukan dalam Tabel 4 dan Tabel 5 untuk masing-masing lorong *Parshall* standar dan lorong *Parshall* besar.

Ukuran Lorong *Parshall* standar khusus ditentukan oleh lebar leher saluran  $b$  (lihat Tabel 4 kolom 2). Untuk serangkaian Lorong *Parshall* standar dengan lebar leher saluran  $b$  dari 0,152 m sampai 2,400 m (lihat Tabel 4 kolom 1) dimensi yang menentukan adalah panjang leher saluran  $L$  (kolom 2), tinggi puncak  $h_{p1}$  (kolom 6), koordinat  $X$  dan  $Y$  dari penampang melintang leher saluran pada pipa tabung pengukur yang digunakan untuk pengukuran tinggi  $h_b$  (kolom 4 dan 5), panjang sumbu pengeluaran  $L_2$  (kolom 12), tinggi  $h_{p2}$  (kolom 12), kemiringan lantai leher saluran 2 : 8 dan kemiringan terbalik lantai pengeluaran 1 : 6.

Dimensi lain dari flume-flume ini dihitung menurut persamaan berikut.

- a) lebar penampang melintang masuk flume,  $b_1$ , dalam m;

$$b_1 = 1,2 b + 0,48 \quad (20)$$

- b) panjang sumbu pemasukan,  $L_1$ , dalam m;

$$L_1 = 0,5 b + 1,2 \quad (21)$$

- c) panjang dinding pertemuan,  $L_e$ , dalam m;

$$L_e = 1,02 L_1 \quad (22)$$

- d) panjang dinding antara bagian puncak mercu dan pengukuran tinggi air,  $L_a$ , dalam m;

$$L_a = 2 L_e / 2 \quad (22)$$

- e) lebar penampang melintang pengeluaran flume,  $b_2$ , dalam m;

$$b_2 = b + 0,20 \quad (24)$$

- f) tinggi dinding sisi dari pemasukan, dalam m;

$$h_c = h_{amax} + (0,15 \text{ a } 0,20) \quad (25)$$

**Tabel 4 – Dimensi lorong *Parshall* standar**

No. Parshall Flume	Dimensi dalam (m)												
	Saluran					Pemasukan				Pengeluaran			Tinggi Tembok Sisi
	$b$	$L$	$X$	$Y$	$h_{p1}$	$b_1$	$L_1$	$L_e$	$L_a$	$b_2$	$L_2$	$h_{p2}$	$h_c$
1	2	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14
1	0,152	0,205	0,050	0,075	0,115	0,400	0,610	0,622	0,415	0,290	0,610	0,012	0,600
2	0,250	0,600	0,050	0,075	0,220	0,780	1,225	1,252	0,900	0,550	0,920	0,072	0,800
2	0,200	0,600	0,050	0,075	0,220	0,840	1,250	1,277	0,920	0,600	0,920	0,072	0,950
4	0,450	0,600	0,050	0,075	0,220	1,020	1,425	1,454	0,967	0,750	0,920	0,072	0,950
5	0,600	0,600	0,050	0,075	0,220	1,200	1,500	1,520	1,020	0,900	0,920	0,072	0,950
6	0,750	0,600	0,050	0,075	0,220	1,280	1,575	1,607	1,074	1,050	0,920	0,072	0,950
7	0,900	0,600	0,050	0,075	0,220	1,560	1,650	1,682	1,121	1,200	0,920	0,072	0,950
8	1,000	0,600	0,050	0,075	0,220	1,680	1,700	1,724	1,161	1,200	0,920	0,072	1,000
9	1,200	0,600	0,050	0,075	0,220	1,920	1,800	1,826	1,227	1,500	0,920	0,072	1,000
10	1,500	0,600	0,050	0,075	0,220	2,280	1,950	1,989	1,229	1,800	0,920	0,072	1,000
11	1,800	0,600	0,050	0,075	0,220	2,640	2,100	2,142	1,427	2,100	0,920	0,072	1,000
12	2,100	0,600	0,050	0,075	0,220	2,000	2,250	2,295	1,524	2,400	0,920	0,072	1,000
12	2,400	0,600	0,050	0,075	0,220	2,260	2,400	2,448	1,622	2,700	0,920	0,072	1,000



Tabel 5 – Dimensi lorong *Parshall* besar

No. Parshall Flume	Dimensi dalam (m)											
	Saluran					Pemasukan			Pengeluaran			Tinggi Tembok Sisi
	$b$	$L$	$X$	$Y$	$h_{p1}$	$b_1$	$L_1$	$L_a$	$b_2$	$L_2$	$h_{p2}$	$h_c$
1	2	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12
14	2,050	0,910	0,205	0,220	0,242	4,760	4,270	1,820	2,660	1,820	0,152	1,220
15	2,660	0,900	0,205	0,220	0,242	5,610	4,880	2,020	4,470	2,440	0,152	1,520
16	4,570	1,220	0,205	0,220	0,457	7,620	7,620	2,240	5,590	2,050	0,202	1,820
17	6,100	1,820	0,205	0,220	0,686	9,140	7,620	2,840	7,220	2,660	0,205	2,120
18	7,620	1,820	0,205	0,220	0,686	10,670	7,620	2,250	8,940	2,960	0,205	2,120
19	9,140	1,820	0,205	0,220	0,686	12,210	7,920	2,860	10,570	4,270	0,205	2,120
20	12,190	1,820	0,205	0,220	0,686	5,480	8,220	4,880	12,820	4,880	0,205	2,120
21	15,240	1,820	0,205	0,220	0,686	18,520	8,220	5,890	17,270	6,100	0,205	2,120

Dianjurkan supaya tinggi tembok sisi ditambah 1,00 m agar tidak terjadi pelimpasan aliran jika debit dalam flum melebihi debit desain maksimum.

Panjang  $L_2$  dan  $L_4$  tembok sayap berubah sesuai dengan lebar saluran alami atau buatan (lihat Tabel 4). Tembok sayap harus berjarak sekurang-kurangnya 0,4 m - 0,5 m dalam tanggul saluran supaya terjadi penyambungan yang baik pada tanggul saluran atau lereng sisi saluran buatan.

Dimensi Lorong *Parshall* besar ditentukan untuk setiap desain yang merupakan fungsi lebar leher saluran. Tidak tersedia persamaan analitis untuk menentukan dimensi-dimensi utama Lorong *Parshall* besar; nilai-nilai yang terdapat dalam Tabel 5 dapat digunakan. Nilai-nilai ini tidak boleh berbeda atau dibulatkan tanpa dilakukan kalibrasi flum tambahan.

Tabel 5 menggambarkan dimensi Lorong *Parshall* besar dengan lebar leher saluran antara 2,05 m dan 15,24 m untuk mengukur debit antara 0,16 m<sup>2</sup>/s sampai dengan 92 m<sup>2</sup>/s (Tabel 5). Terlihat dalam Tabel 5 bahwa  $X$ ,  $Y$ ,  $h_{p1}$  dan  $h_{p2}$  tetap konstan untuk serangkaian *flume*. Demikian juga, kemiringan lantai 2 : 8 dan 1 : 6 untuk masing-masing lantai leher saluran dan lantai pengeluaran, sudut temu ( $11^\circ 19'$ ) dan perbedaan ( $19^\circ 28'$ ) tembok sisi pemasukan dan pengeluaran juga tetap konstan untuk semua Lorong *Parshall*.

Satu-satunya dimensi yang dapat ditentukan secara analitis adalah panjang dinding,  $L_a$ , yaitu jarak antara puncak lantai dan pemasukan pipa tabung pengukur yang digunakan untuk pengukuran tinggi air,  $h_a$ . Panjang dinding ( $L_a$ ), dalam meter, dengan persamaan :

$$L_a = \frac{b}{3} + 0,812 \quad (26)$$

Dianjurkan supaya lebar leher saluran,  $b$ , sama dengan sepertiga sampai setengah kali lebar dasar,  $b_c$ , dari saluran alami atau buatan (lihat Gambar 12).

### 8.1.2 Pertimbangan penggunaan

- Parshall Flume* berpenampang melintang empat persegi panjang dan lebar leher saluran bervariasi dari (0,152 m sampai 15 m atau lebih) dimana dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 dan digunakan untuk pengukuran debit antara 0,16 m<sup>2</sup>/s sampai \*dengan 92,0 m<sup>2</sup>/s.







#### 8.1.4 Persyaratan

- Bangunan harus stabil dan kedap air serta harus mampu menahan kondisi aliran banjir tanpa terjadi kerusakan oleh erosi sekeliling atau dari bagian hilir.
- Sumbu saluran harus sejajar dengan arah aliran dalam saluran di bagian udik.
- Permukaan *flume* khususnya pada pemasukan dan leher saluran harus licin. *Flume* dapat dibuat dari beton dengan lapisan akhir semen yang licin atau dapat diberi lapisan dengan bahan non-korosif yang licin. Untuk penggunaan laboratorium, tingkat kelicinan lapisan akhir harus sama dengan lembaran logam atau kayu yang telah diserut, diampelas, dan dicat.
- Lapisan permukaan berbentuk prisma dari leher saluran berkisar antara profil  $0,5 h_{\max}$  di bagian udik dan hilir leher saluran.

### 8.2 Kondisi aliran dan pengukuran kedalaman air

#### 8.2.1 Kondisi aliran sempurna dan tidak sempurna

Debit Lorong *Parshall* dianggap sebagai aliran sempurna jika tidak tergantung pada ketinggian air hilir. Jika Lorong *Parshall* beroperasi dalam kondisi aliran bebas, maka aliran pada pemasukan berada dalam keadaan subkritis, kedalaman berkurang pada arah aliran sampai kedalaman kritis tercapai dekat puncak flume. Di atas puncak, pada bagian leher saluran, kedalaman adalah subkritis (lihat Gambar 12). Kondisi aliran sempurna tetap bertahan sampai ketinggian di bagian hilir naik sampai suatu titik yang rasionya dalam keadaan tidak sempurna ( $\sigma = h_b / h_a$ ) sama dengan batas modular  $\sigma_c$ , yaitu :

$$\sigma_c = h_b / h_a \quad (27)$$

Jika keadaan yang di atas terjadi, maka aliran dalam pengeluaran dan di bagian terbesar dari leher saluran, aliran tidak sempurna.

Dengan tinggi tekan air bagian hilir yang lebih besar, keadaan aliran tidak sempurna meluas ke bagian udik di pemasukan dengan demikian mengurangi debit melalui flum. Flum yang beroperasi dalam kondisi aliran tidak sempurna, debit yang akan diukur tergantung pada rasio aliran tidak sempurna  $\sigma$ .

Tes kalibrasi menunjukkan bahwa batas modular untuk Lorong *Parshall* standar adalah 0,55 - 0,78 (lihat Tabel 6 kolom 8). Nilai rata-rata yang dianjurkan untuk rasio aliran tidak sempurna adalah 0,6 – 0,7 (lihat Tabel 2 kolom 9) dan 0,8 (lihat Tabel 7 kolom 8) untuk setiap Lorong *Parshall* standar dan besar.

Penentuan debit dalam kondisi aliran tidak sempurna dimungkinkan asalkan rasio aliran tidak sempurna tidak melebihi 0,95. Dengan rasio aliran tidak sempurna lebih tinggi, flume berhenti beroperasi sebagai bangunan pengukur debit. Perlu dicatat bahwa flume yang beroperasi di bawah kondisi aliran tidak sempurna memberi keuntungan kehilangan tinggi tekan air yang terendah. Akan tetapi, kondisi aliran tidak sempurna membuat pengukuran debit kurang tepat daripada yang dilaksanakan dalam kondisi aliran sempurna.

##### 8.2.1.1 Kondisi aliran sempurna

Debit,  $Q$  yang mengalir melalui Lorong *Parshall* yang beroperasi dalam kondisi aliran sempurna diperoleh dari persamaan umum berikut.

$$Q = C_D b h_a^n \quad (28)$$



**Keterangan:**

- Q adalah debit aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 b adalah lebar leher saluran (m)  
 $C_D$  adalah koefisien pengaliran debit  
 $h_a$  adalah tinggi tekan air pada pemasukan (m)  
 n adalah eksponen yang tergantung pada b,

Debit melalui Lorong *Parshall* standar pada Tabel 6 nomor 2–2 yang beroperasi pada kondisi aliran sempurna, diperoleh dari persamaan berikut :

$$Q = 0,372 b \left( \frac{h_a}{0,305} \right)^{1,569 b^{0,026}} \quad (29)$$

Dengan  $C_D = 0,272$  dan  $n = 1,569 b^{0,026}$  ; untuk Lorong *Parshall* standar nomor 1;  $C_D = 0,284$  dan n mempunyai nilai yang sama seperti di atas.

Persamaan debit untuk setiap Lorong *Parshall* standar ditentukan dalam Tabel 2 kolom 2 dengan :

$$C = C_D b (2,279)^n \quad (20)$$

Debit melalui Lorong *Parshall* besar yang terpersentase pada Tabel 7, kolom 1, nomor 14 - 21 yang beroperasi dalam kondisi aliran sempurna (yaitu  $\sigma < \sigma_c$ ) diperoleh persamaan :

$$Q = (2,292b + 0,48) h_a^{1,6} \approx (2,2b + 0,48) h_a^{1,6} \quad (21)$$

Dengan  $C_D = 2,2 + 0,48/b$  dan  $n = 1,6$ . Persamaan debit untuk setiap Lorong *Parshall* besar dipersentasekan dalam Tabel 7, kolom 2 dengan:

$$C = C_D b \quad (22)$$

Tabel 6 dan 7 memberikan nilai debit sempurna [dihitung dari rumus (20) dan (21)] yang dapat diterapkan pada semua ukuran *flume*.

**8.2.1.2 Kondisi aliran tidak sempurna**

Debit melalui Lorong *Parshall* yang beroperasi pada kondisi aliran tidak sempurna dipengaruhi oleh tinggi tekan air hilir. Dengan demikian, dapat diperoleh dengan cara penyesuaian terhadap debit aliran sempurna :

$$Q_{dr} = Q - Q_E \quad (22)$$

**Keterangan:**

- $Q_{dr}$  adalah debit aliran tidak sempurna  
 Q adalah debit aliran sempurna yang diperoleh dari rumus (29) atau (20)  
 $Q_E$  adalah pengurangan debit sebagai hasil keadaan aliran tidak sempurna

Untuk mengevaluasi  $Q_E$  untuk Lorong *Parshall* standar (yaitu Tabel 6, Nomor 1-12), persamaan empirik berikut harus digunakan. Untuk *Parshall Flume* besar prosedur penentuan  $Q_E$  adalah sebagai berikut.

$$Q_E = 0,07 \left\{ \left[ \frac{h_a}{[(1,8/\sigma)^{1,8} - 2,46] 0,305} \right]^{4,57 - 3,14\sigma} + \sigma \right\} b^{0,815} \quad (24)$$



Dari Gambar A.2 Lampiran A, pilih nilai  $Q_{E2}$  (untuk lebar leher saluran  $b = 2,05$  m) yang sama dengan rasio aliran tidak sempurna  $\sigma$  dan tinggi tekan air udik  $h_a$  flume.

### 8.2.2 Pengukuran kedalaman air

Besaran debit melalui Lorong *Parshall* ditentukan oleh kedalaman air pada pemasukan (tinggi di bagian udik,  $h_a$ ) dan bagian leher saluran (tinggi di bagian hilir,  $h_b$ ). Pengukuran satu atau kedua tinggi tergantung pada keadaan aliran dalam flume.

Untuk kondisi aliran sempurna, hanya perlu diukur tinggi  $h_a$ . Bagian pengukuran tinggi  $h_a$  dilakukan pada jarak  $L_a$  yang diukur sepanjang dinding miring di bagian hulu puncak flume.  $L_a$  dapat dihitung dengan menggunakan rumus (22 dan 26). Tinggi yang dianjurkan untuk  $h_a$  ditentukan dalam Tabel 6 dan 7.

Jika ketelitian tidak begitu penting, akan digunakan papan duga yang dipasang secara vertikal di bagian pengukuran tinggi bagian dalam pertemuan dinding masuk. Alat ini dapat digunakan untuk menentukan  $h_a$ . Papan duga tersebut berada pada elevasi 0 pada puncak flume yang merupakan elevasi lantai flume horizontal ujung bagian hilir pemasukan.

Jika Lorong *Parshall* beroperasi dalam keadaan aliran tidak sempurna diperlukan pengukuran ketinggian  $h_a$  dan  $h_b$ . Bagian pengukuran  $h_b$  terletak dalam leher saluran pada jarak  $X$  dari lantai dasar leher saluran. Karena aliran dalam leher saluran cukup turbulen yang menyebabkan fluktuasi muka air, tidak dianjurkan untuk menggunakan papan duga untuk pengukuran  $h_b$ . Oleh sebab itu, diperlukan tabung pengukur.

Tabel 4 dan 5 menggambarkan nilai  $X$  dan  $Y$ , yang merupakan koordinat penampang melintang masuk pipa penghubung untuk beberapa ukuran flume. Papan duga, alat duga ketinggian atau pencatat kontinu yang berada pada titik nol terhadap ketinggian puncak flume harus ditempatkan dalam tabung pengukur.

Tabung pengukur untuk pengukuran  $h_a$  dan  $h_b$  sebaiknya dipasang berdekatan satu sama lain sehingga seluruh instalasi berada dalam satu tempat (di dalam ataupun di luar). Ketinggian yang dianjurkan yang dapat diukur oleh beberapa ukuran Lorong *Parshall* berkisar antara 0,02 m - 0,8 m untuk flume standar dan 0,09 m - 1,82 m untuk flume besar lihat Tabel 6 dan Tabel 7.



Tabel 6 – Karakteristik debit untuk Lorong *Parshall* standar

No <i>Parshall Flume</i>	Tenggorokan Saluran  B  M	Persamaan Debit <sup>1)</sup>  $Q=Ch_a^n$  $m^2/s$	Ukuran tinggi		Ukuran debit		Batas modular $\sigma_c$  (berdasarkan percobaan)	Ratio Dalam Keadaan aliran tidak Sempurna (dianjurkan)
			$h_a$		Q			
			M		$\times 10^{-2}m^2/s$			
			min,	max,	min,	max		
1	2	2	4	5	6	7	8	9
1	0,152	$0,281 h_a^{1,580}$	0,02	0,45	1,5	100	0,55	0,60
2	0,25	$0,561 h_a^{1,512}$	0,02	0,60	2	250	-	0,60
2	0,20	$0,672 h_a^{1,521}$	0,02	0,75	2,5	400	0,62	0,60
4	0,45	$1,028 h_a^{1,527}$	0,02	0,75	4,5	620	0,64	0,60
5	0,60	$1,402 h_a^{1,546}$	0,05	0,75	12,5	850	0,66	0,60
6	0,75	$1,772 h_a^{1,557}$	0,06	0,75	25	1100	0,67	0,60
7	0,90	$2,147 h_a^{1,565}$	0,06	0,75	20	1250	0,68	0,60
8	1,00	$2,297 h_a^{1,569}$	0,06	0,80	20	1500	-	0,70
9	1,20	$2,904 h_a^{1,577}$	0,06	0,80	25	2000	0,70	0,70
10	1,50	$2,668 h_a^{1,586}$	0,06	0,80	45	2500	0,72	0,70
11	1,80	$4,440 h_a^{1,592}$	0,08	0,80	80	2000	0,74	0,70
12	2,10	$5,222 h_a^{1,599}$	0,08	0,80	95	2600	0,76	0,70
12	2,40	$6,004 h_a^{1,605}$	0,08	0,80	100	4000	0,78	0,70
<b>Keterangan :</b> 1) $C = C_D b$ $C_D$ adalah koefisien debit $n$ adalah eksponen yang tergantung pada $b$ 2) Dibulatkan pada nilai terkecil								



Tabel 7 – Karakteristik debit untuk Lorong *Parshall* besar

No <i>Parshall</i> <i>Flume</i>	Tenggorokan Saluran  B  m	Persamaan Debit <sup>1)</sup> untuk kondisi aliran sempurna  $Q=Ch_a^n$	Ukuran tinggi  ( $h_a$ )  M		Ukuran debit  (Q)  $m^2/s$		Ratio Dalam Keadaan aliran tidak sempurna (dianjurkan)	Koefisien aliran tidak sempurna (faktor koreksi) $C_s$
			min,	max,	min,	max		
1	2	2	4	5	6	7	8	9
14	2,05	$7,462 h_a^{1,6}$	0,09	1,07	0,16	8,28	0,80	1,00
15	2,66	$8,859 h_a^{1,6}$	0,09	1,27	0,19	14,68	0,80	1,20
16	4,57	$10,96 h_a^{1,6}$	0,09	1,67	0,22	25,04	0,80	1,50
17	6,10	$14,45 h_a^{1,6}$	0,09	1,82	0,21	27,97	0,80	2,00
18	7,62	$17,94 h_a^{1,6}$	0,09	1,82	0,28	47,16	0,80	2,50
19	9,14	$21,44 h_a^{1,6}$	0,09	1,82	0,46	56,22	0,80	2,00
20	12,19	$28,42 h_a^{1,6}$	0,09	1,82	0,60	74,70	0,80	4,00
21	15,24	$25,41 h_a^{1,6}$	0,09	1,82	0,75	92,04	0,80	5,00
dengan :								
1) $C = C_D b$ $C_D$ adalah koefisien debit								

## 9 Pengukuran debit dengan bangunan ujung hulu bulat (*Romijn*)

### 9.1 Ketentuan dan persyaratan

#### 9.1.1 Bentuk dan ukuran

Bentuk bangunan ukur ini terdiri atas mercu dengan elevasi yang benar dan horizontal yang berada di antara dinding pangkal bangunan. Ujung hulu dibulatkan agar tidak terjadi pemisahan aliran, dan di hilir ambang horizontal dapat dibuat :

- bulat;
- miring ke bawah;
- muka tegak.

Ambang harus ditempatkan dengan arah tegak lurus terhadap arah aliran di saluran pengarah. Dimensi ambang dan dinding pangkal bangunan harus dibuat memenuhi persyaratan yang ditunjukkan pada Gambar 12.

Jari-jari,  $r$ , pada mercu hulu tidak boleh kurang dari  $0,2 H_{maks}$ . Panjang mercu ambang horizontal tidak kurang dari  $1,75 H_{maks}$  atau panjang total mercu dan jari-jari ujung hulunya tidak kurang dari  $2,25 H_{maks}$ ,

Dalam hal ambang gerak, tubuh ambang dapat dibuat dari pelat baja atau aluminium. Jika ambang mempunyai mercu tetap, dapat dibuat dari pelat logam atau beton yang diplesir. Bila bangunan digunakan untuk mengatur dan mengukur aliran, seperti banyak digunakan dalam keperluan irigasi, maka akan dipilih bangunan pelimpah yang dapat bergeser dalam arah vertikal, yang dapat digerakkan dengan tangan atau mesin.



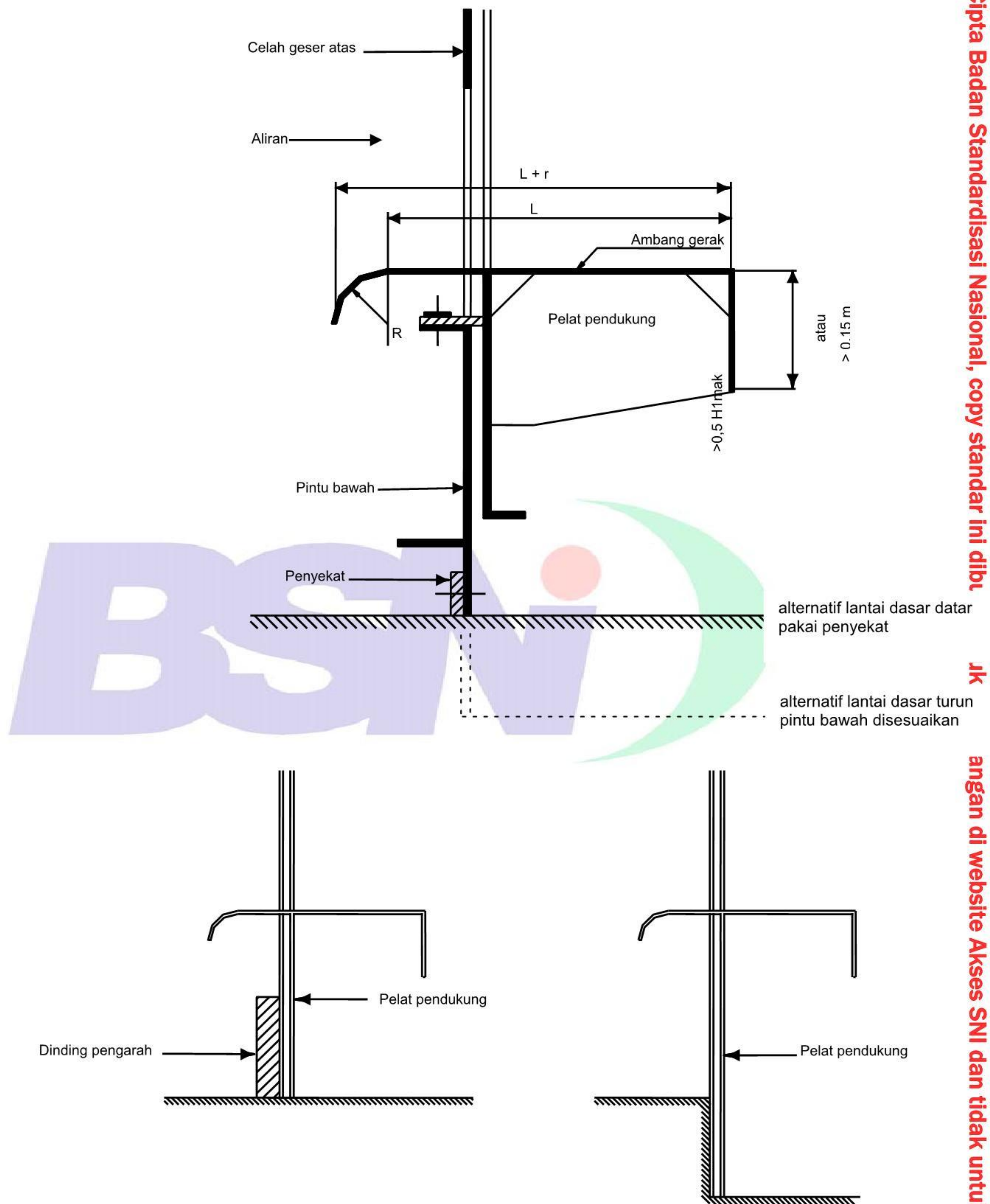
### 9.1.2 Pemilihan lokasi

Bangunan ukur harus ditempatkan pada ruas saluran yang lurus, terhindar dari gangguan-gangguan setempat serta kekasaran atau ketidakteraturan dasar saluran.

Studi pendahuluan harus dilakukan terhadap kondisi fisik dan gambaran hidraulik dari usulan lokasi untuk memeriksa apakah lokasi tersebut memenuhi persyaratan yang diperlukan untuk pengukuran debit dengan bangunan ukur ini. Dalam pemilihan lokasi, hal-hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

- a) Harus tersedia panjang saluran yang memadai sehingga aliran tegak lurus terhadap ambang dengan penampang melintang yang teratur.
- b) Terdapat keseragaman distribusi kecepatan.
- c) Harus dihindari saluran terjal.
- d) Pengaruh peninggian muka air hulu akibat bangunan ukur tersebut.
- e) Kondisi bagian hilir (termasuk pengaruh-pengaruh seperti pasang surut, pertemuan dengan saluran lain, pintu sorong, dan bangunan lainnya yang mungkin mengakibatkan aliran tenggelam).
- f) Kekedapan fondasi bangunan ukur serta perlu tidaknya pemancangan, *grouting* atau usaha lain untuk mengendalikan rembesan.
- g) Perlunya tanggul banjir untuk membatasi debit maksimum di dalam saluran.
- h) Kestabilan tanggul serta perlu tidaknya perbaikan dan atau perkuatan tebing sungai.
- i) Keseragaman penampang melintang pada saluran pengarah.
- j) Tiupan angin, yang besar pengaruhnya terhadap aliran sungai, atau di atas ambang atau bangunan ukur, terutama apabila sungai, ambang atau bangunan ukur tersebut lebar dan tinggi energinya kecil dan bila arah tiupan angin berlawanan arah aliran.
- k) Pertumbuhan gulma air, dan
- l) Angkutan sedimen.





Gambar 12 – Susunan umum bangunan ukur ujung hulu bulat



### 9.1.2 Syarat-syarat pemasangan

#### a) Persyaratan umum

- 1) Pemasangan bangunan ukur yang lengkap terdiri atas saluran pengarah, bangunan ambang, dan saluran hilir.
- 2) Kondisi saluran pengarah, bangunan ambang, dan saluran hilir ini mempengaruhi ketelitian pengukuran secara keseluruhan. Persyaratan pemasangan termasuk bentuk, seperti bentuk akhir permukaan ambang, bentuk penampang melintang saluran, kekasaran saluran dan pengaruh dari peralatan pengontrol yang terdapat di hulu dan di hilir dari bangunan alat duga muka air.
- 3) Distribusi dan arah kecepatan akan mempengaruhi kinerja dari ambang.
- 4) Begitu bangunan ukur dibangun, maka setiap penambahan pada sistem yang mempengaruhi dasar perencanaan akan mengubah karakteristik debitnya.

#### b) Saluran pengarah

- 1) Bila aliran pada saluran pengarah terganggu oleh ketidakaturan bentuk saluran, misalnya adanya bongkah batu besar, singkapan batuan yang besar, atau oleh adanya tikungan, pintu sorong, atau gangguan bentuk-bentuk lain yang dapat mengakibatkan tidak simetrisnya penampang debit saluran sehingga berpengaruh terhadap ketelitian pengukuran. Aliran pada saluran pengarah harus mempunyai distribusi kecepatan yang simetris. Hal ini dapat terpenuhi apabila saluran pengarahnya lurus dan cukup panjangnya serta mempunyai penampang melintang yang seragam.
- 2) Panjang saluran pengarah yang lurus biasanya cukup lima kali lebar permukaan air pada kondisi aliran maksimum, asalkan aliran tidak masuk ke saluran pengarah dengan kecepatan tinggi melalui tikungan tajam atau pintu sorong berujung tajam. Namun, saluran pengarah yang lebih panjang lebih mewakili apabila kondisinya memungkinkan.
- 3) Panjang saluran pengarah yang seragam seperti disyaratkan pada butir b) 2), mengacu pada jarak ke hulu diukur dari posisi pengukuran tinggi muka air. Namun pada sungai akan tidak ekonomis apabila dasar dan tebing dilapis dengan beton sepanjang syarat batas tersebut dan mungkin diperlukan adanya penyempitan bila lebar datar dinding-dinding vertikal dari saluran pengarah ke arah ambang lebih sempit dari lebar sungai. Saluran tanah di bagian hulu dari bagian penyempitan harus memenuhi persyaratan butir b) 1) dan b) 2).
- 4) Dalam tata letak dinding vertikal samping sampai efek penyempitan harus disusun secara simetris dengan memperhatikan sumbu saluran dan dianjurkan dibuat lengkung dengan jari-jari  $R$  lebih besar atau sama dengan 2 kali nilai maksimum tinggi energi total,  $H_{maks}$ . Titik tangensial hulu harus berada minimal sama dengan  $H_{maks}$  di hulu penampang pengukuran tinggi energi. Tinggi dinding samping harus ditentukan sedemikian rupa sehingga debit maksimum rencana dapat ditampung.
- 5) Pada saluran yang alirannya bebas dari sampah yang mengapung atau melayang, pengarah yang baik dapat juga dicapai dengan memasang kisi-kisi dari bilah-bilah tegak, yang ditempatkan pada jarak lebih besar atau sama dengan 10 (sepuluh) kali  $H_{maks}$  dari titik pengukuran tinggi muka air.
- 6) Pada kondisi-kondisi tertentu, loncatan hidraulik mungkin terjadi di bagian hulu bangunan pengukur misalnya bila kemiringan saluran pengarahnya terjal. Bila lokasi loncatan hidraulik terjadi di hulu pada jarak tidak kurang dari  $20 H_{maks}$ , pengukuran aliran masih dianggap layak, asalkan dapat dikonfirmasi bahwa distribusi kecepatan pada tempat pengukuran sudah merata.
- 7) Kondisi pada saluran pengarah dapat diperiksa dengan pengamatan visual atau pengukuran-pengukuran dengan beberapa metode yang ada seperti alat pengukur kecepatan tipe baling-baling, pelampung, tongkat ukur kecepatan, dan konsentrasi larutan pewarna yang juga dapat bermanfaat untuk melihat kondisi dasar saluran. Penaksiran distribusi kecepatan secara lengkap dan kuantitatif dapat dilakukan dengan alat ukur kecepatan tipe baling-baling.



#### 9.1.4 Syarat konstruksi bangunan ukur

- a) Konstruksi bangunan ukur harus kokoh dan kedap air serta mampu menahan aliran banjir tanpa mengalami kerusakan akibat rendaman banjir atau gerusan di hilirnya. Ambang harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah aliran dan bentuknya harus sesuai dengan ukuran yang diberikan berdasarkan hal-hal yang berkaitan.
- b) Permukaan ambang dan dinding samping harus halus, yang dapat dibuat dari konstruksi beton diplester halus dengan semen, atau dilapisi dengan bahan halus tahan karat. Di laboratorium, penghalusan permukaan harus sama dengan permukaan dari pelat baja atau papan kayu yang diampelas dan dicat. Kehalusan permukaan akhir termasuk hal penting pada ambang horizontal, terutama selebar  $0,5 H_{maks}$  ke arah hulu dan hilir ambang.
- c) Untuk memperkecil kesalahan pengukuran aliran, toleransi penyimpangan selama pelaksanaan yang diizinkan adalah sebagai berikut.
  - 1) Lebar ambang 0,2% dari lebar rencana ambang dan maksimum 0,01 m.
  - 2) Pada permukaan horizontal, kemiringannya 0,1% atau 1 mm/m.
 Konstruksi harus diukur setelah selesai pembangunan dan dalam jangka waktu tertentu sesudah bangunan tersebut berfungsi. Jika terjadi perubahan ukuran dari desain yang melebihi toleransi yang diizinkan, debitnya harus dihitung kembali.

#### 9.1.5 Persyaratan untuk aliran sempurna

Aliran dalam kondisi sempurna apabila aliran itu tidak dipengaruhi oleh perubahan muka air hilir. Agar ini terjadi, aliran di bagian hilir dianggap dalam kondisi subkritis dan total tinggi energi hilir tidak boleh melebihi batas persentase terhadap tinggi energi udik ( $H$ ). Jika tubuh ambang bagian hilir vertikal, besar persentasenya tergantung pada  $H/p_d$ . Bila  $H/p_d$  kecil, persentasenya adalah 62%, untuk  $H/p_d = 0,5$ , maka persentasenya adalah 75% dan untuk  $H/p_d \geq 1$ , maka persentasenya adalah 80%.

Nilai tersebut dapat dipakai juga pada ambang gerak. Pada ambang tetap dengan kemiringan tubuh ambang bagian hilir lebih kecil dari 1 : 5, batas persentasenya dapat dinaikkan sebesar 5 % untuk ketiga kondisi tersebut di atas. Dalam hal ini  $p_d$  adalah tinggi mercu diukur dari dasar saluran hilir. Dengan anggapan kondisi aliran di hilir ambang adalah subkritis, akan terjadi aliran sempurna jika elevasi tinggi muka air di hilir ambang tidak naik sampai persentase tertentu terhadap  $H$ . Jika permukaan hilir ambang vertikal, persentase ini tergantung dari  $H/p_d$ .  $p_d$  adalah tinggi mercu ambang di atas elevasi dasar saluran di sebelah hilir

#### 9.1.6 Ketentuan umum pengukuran tinggi muka air

Bila pengukuran-pengukuran sesaat diperlukan, tinggi muka air di hulu mercu ambang dapat diukur dengan menggunakan papan duga vertikal atau miring, jarum ukur, titik pengukur, bandul dengan kawat ukur atau pita ukur. Bila pengukuran menerus diperlukan, alat pencatat otomatis harus digunakan. Dengan menurunnya ukuran ambang dan tinggi muka air, kesalahan kecil pada saat pembuatan dan penentuan titik nol serta pembacaan alat pengukur tinggi energi menjadi lebih besar dan relatif penting.



### 9.1.7 Syarat umum pemeliharaan

Pemeliharaan terhadap bangunan ukur dan saluran pengarah sangat penting untuk menjaga ketelitian dan kesinambungan pengukuran.

Saluran pengarah harus dijaga agar bersih dan bebas dari lumpur serta tanaman sampai jarak minimal tertentu seperti disebut pada syarat-syarat pemasangan saluran pengarah. Sumuran pelampung dan mulut saluran pengarahnya juga harus dijaga agar bersih dan bebas dari endapan. Bangunan ambang ukur harus dijaga agar bersih dan bebas dari sampah serta perlu hati-hati dalam pembersihan endapan agar tidak terjadi kerusakan pada mercu ambang.

## 9.2 Rumus debit dan batasan penggunaan

### 9.2.1 Rumus dasar

Teori kedalaman kritis, yang diporeh dari data percobaan menunjukkan bahwa debit  $Q$ , yang melimpasi ambang lebar horizontal berujung hulu bulat yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot C_D \cdot b \cdot \sqrt{g} \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (25)$$

**Keterangan:**

$C_D$  adalah koefisien debit, ( - )

$b$  adalah lebar mercu ambang, (m)

$g$  adalah percepatan gravitasi, (m/s<sup>2</sup>)

$H$  adalah total tinggi energi, (m)

$\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}}$  adalah konstanta yang tidak mengandung kesalahan ( - )

Karena tinggi energi total  $H$ , tidak dapat diukur langsung, maka persamaan debit dalam kaitan dengan tinggi muka air teramati,  $h$ , terhadap elevasi mercu ditulis sebagai berikut.

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot C_D \cdot C_v \cdot b \cdot \sqrt{g} \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad (26)$$

**Keterangan:**

$C_v$  adalah koefisien tanpa dimensi yang mengikuti pengaruh kecepatan aliran datang pada elevasi muka air di hulu ambang, ( - )

$h$  adalah tinggi muka air di atas mercu ambang, (m)

Menurut definisi :

$$C_v = \left(\frac{H}{h}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (27)$$

Tinggi energi total berhubungan dengan tinggi muka air teramati yang diberikan dengan persamaan.

$$H = h + \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (28)$$



**Keterangan:**

- $v$  adalah kecepatan rata-rata di saluran pengarah pada penampang melintang tempat tinggi muka air diukur, (m/s)
- $\alpha$  adalah koefisien (energi kinetik atau koefisien *Coriolis*), ( - )  
 koefisien ini memperhitungkan kenyataan bahwa tinggi energi kinetik lebih besar dari  $v^2/2g$  jika distribusi kecepatan melintang saluran teratur, tetapi tidak seragam. Dalam penerapan persamaan ini  $\alpha$  dapat diambil sama dengan satu.

Dari persamaan berikut dan (26), (27), dan (28), diperoleh:

$$\frac{3\sqrt{3(C_v^{3/2} - 1)^{1/5}}}{C_v} = \frac{2C_D b h}{A} \quad (29)$$

**Keterangan:**

$A$  adalah luas penampang melintang basah, (m<sup>2</sup>)

Maka  $C_v$  dapat dinyatakan sebagai fungsi  $\frac{C_D b h}{A}$ . Untuk menghindari kesulitan dalam

menyelesaikan persamaan (29) Gambar 2 menyajikan hubungan antara  $C_D$  dan  $\frac{C_D b h}{A}$ .

Besarnya  $C_v$  dapat diperoleh dari persamaan (40) atau (40a).

**9.2.2 Perhitungan debit**

Ada dua metode yang umum digunakan untuk menghitung besarnya debit dari hasil pembacaan tinggi muka air. Metode pertama menggunakan teknik pendekatan dan persamaan dasar tinggi energi total. Metode ini dapat dilakukan dengan menggunakan komputer dan akan efisien bila perhitungannya rumit dan berulang-ulang. Metode kedua menggunakan hubungan yang diperoleh dari hasil pengukuran dan tinggi energi total untuk tipe ambang dan geometri aliran tertentu. Koefisien pada kecepatan aliran datang  $C_v$  pada persamaan debit diperoleh dari tabel-tabel dan grafik-grafik.

Persamaan dasar debit diuraikan dengan menggunakan faktor-faktor tinggi energi total dan tinggi energi terukur. Persamaan (26) dapat digunakan untuk mengevaluasi debit, dengan nilai  $C_v$  yang sesuai. Untuk air pada temperatur biasa,  $C_D$  merupakan fungsi tinggi muka air,  $h$ , panjang mercu ambang dalam arah aliran, kekasaran permukaan mercu, dan perbandingan  $h/b$  yang dinyatakan dalam persamaan.

$$C_D = \left(1 - \frac{2 \cdot x \cdot L}{b}\right) \left(1 - \frac{x \cdot L}{h}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (40)$$

**Keterangan:**

$x$  adalah  $\delta^*/L$  adalah faktor karena pengaruh lapisan batas pada mercu, ( - )

$\delta$  adalah tebal lapisan batas, (m)

$L$  adalah panjang penampang horizontal pada ambang searah aliran, (m)

Pada ambang yang dibangun dengan permukaan yang halus nilai  $\delta^*/L$  secara praktis terletak antara 0,002 sampai dengan 0,004. Mengingat bahwa  $4000 < L/k < 105$  ( $k$  adalah nilai kekasaran) dan  $Re > 2 \times 10^5$  ( $Re$  adalah bilangan *Reynolds*),  $\delta^*/L$  dianggap sama dengan 0,002 dengan tidak memberikan kesalahan yang berarti. Persamaan (40) menjadi :

$$C_D = \left(1 - \frac{0.006 \cdot L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (40a)$$



Nilai  $C_v$  berlaku baik untuk mercu dengan bagian hulu tertutup (mercu tetap) maupun mercu dengan bagian hulu terbuka (mercu gerak).

### 9.2.3 Batasan pemakaian

Batas bawah dari  $h$  mempunyai kaitan dengan besarnya pengaruh sifat-sifat fluida dan kekasaran lapis batas. Batas bawah yang disarankan adalah 0,06 m atau 0,01  $L$ , diambil yang besar.

Pembatasan  $H/p$  muncul akibat kesulitan-kesulitan yang dialami, bila Bilangan *Froude* dari saluran pengarah lebih dari 0,5, dikaitkan dengan keterbatasan hasil percobaan pada nilai-nilai  $H/p$  yang tinggi. Batas atas yang disarankan adalah  $H/p = 1,5$ .

$H/L$  tidak boleh lebih dari 0,57 dan pembatasan  $H/L$  muncul karena perlunya menjamin aliran sejajar pada penampang kritis di atas mercu.

Tinggi ambang,  $p$ , tidak boleh kurang dari 0,15 m. Lebar mercu,  $b$ , tidak boleh kurang dari 0,2 m atau tidak lebih kecil dari  $H_{maks}$  atau tidak lebih kecil dari  $L/5$ .

## 10 Perlengkapan dan sarana penunjang

Kelengkapan bangunan ukur ambang tajam terdiri atas dinding saluran, tubuh ambang, pelat ambang dan alat ukur tinggi muka air. Instrumen kelengkapan pendukung terdiri atas pengukur tinggi muka air manual untuk mendapatkan debit sesaat atau pengukur tinggi muka air otomatis untuk mendapatkan hidrograf muka air udik dan debit.

### 10.1 Saluran masuk

Alat ukur ambang tajam segitiga sangat peka terhadap keadaan air menuju ambang yang diukur. Aliran harus tenang dan terdistribusi secara merata dalam penampang saluran. Kondisi aliran seperti ini akan mendekati kondisi laboratorium saat menjabarkan persamaan-persamaan debit. Untuk tujuan tersebut, saluran udik harus cukup panjang, lurus, dan permukaan cukup halus. Bagian saluran masuk yang lurus disarankan sepanjang 10 kali lebar saluran. Kelokan saluran di bagian udik atau pelebaran tiba-tiba memerlukan persyaratan panjang saluran udik yang lebih panjang.

Pada keadaan tertentu dapat digunakan sirip-sirip pengarah arus untuk mendapatkan distribusi penyebaran kecepatan aliran mendekat yang baik. Sirip-sirip pengarah arus tersebut harus ditempatkan pada lokasi dengan jarak lebih jauh dari 10  $h$  di udik lokasi pengukuran tinggi.

Jika aliran yang terjadis pada saluran adalah super kritis, harus diterapkan desain tata letak ambang sedemikian sehingga loncatan air yang terbentuk berada sekurang-kurangnya 20  $h$  di udik ambang ukur dan keseragaman distribusi kecepatan harus diperiksa.

Saluran masuk di sekitar ambang yang baik adalah saluran yang berbentuk empat persegi. Akan tetapi bentuk yang lain dapat diizinkan dengan syarat kondisi kontraksi penuh terpenuhi dan luas penampang saluran sekurang-kurangnya sama besar dengan luas bagian empat persegi panjang terkecil yang terjadi pada kondisi aliran terkontraksi penuh.

### 10.2 Rongga udara

Untuk mencegah terjadinya aliran melekat pada dinding ambang (*nappe clinging*) dan agar proses aerasi berjalan baik dan langgeng, tinggi air hilir harus selalu berada sekurang-kurangnya 0,05 m di bawah mercu ambang.



### 10.3 Tabung pengukur dan penghubung

Tabung penenang dan pengukur muka air digunakan sebagai ruang untuk mengukur tinggi muka air dengan teliti. Penggunaan tabung pengukur dianjurkan jika pelampung duga muka air yang digunakan berbentuk silinder dan ditopang tiang, atau jika permukaan air pada saluran di udik ambang bergelombang atau beriak.

Luas permukaan sumur duga ditentukan oleh dimensi alat duga muka air yang digunakan. Ruang bebas antara pelampung dan dinding sumur duga muka air harus sekurang-kurangnya 2 cm dan sekurang-kurangnya 7,5 cm jika tabung pengukur terbuat dari beton atau bahan kasar lain. Diameter pelampung duga muka air ditentukan oleh besar kesalahan akibat kelambanan reaksi pelampung yang diizinkan. Alat sensor lain juga dapat menentukan luas minimum permukaan sumur duga. Tinggi sumur duga muka air harus mencakup rentang tinggi muka air yang akan diukur.

Tabung pengukur muka air dan pipa penghubung ke saluran di udik ambang ukur tidak boleh bocor. Pembersihan dan penggelontoran baik sumur duga muka air maupun pipa penghubung harus dilakukan secara berkala untuk membuang bahan padat yang tertumpuk. Dianjurkan juga untuk menambahkan air bersih dalam jumlah kecil untuk menjaga supaya sumur duga, pipa penghubung, dan bagian lain tetap bersih. Aliran air tersebut harus dijaga agar tetap rendah sehingga tidak menimbulkan peningkatan tinggi muka air dalam tabung pengukur muka air.

Ambang tajam tidak disarankan untuk mengukur aliran dengan beban pencemar padat yang tinggi. Kemungkinan penumpukan endapan dapat terjadi jika dipasang pada sistem pengolahan air limbah. Pada kondisi ini ambang ukur harus dilengkapi dengan alat pembilas. Bukaan pada tembok sisi saluran sebagai penghubung langsung dengan sumur duga muka air atau melalui pipa harus sekurang-kurangnya berada 0,06 m di bawah muka air minimum dan mempunyai sambungan tegak lurus terhadap dinding. Dinding pada area seluas 10 kali diameter lubang tidak boleh kasar (sekurang-kurangnya sama dengan permukaan beton yang halus). Lubang atau pipa harus cukup kecil untuk secara efektif meredam fluktuasi muka air, tetapi jangan terlalu kecil karena dapat menyebabkan hambatan pada aliran atau sangat sulit untuk tetap terbuka. Untuk aliran air bersih dan langgeng, diperlukan diameter pipa sebesar 1,2 cm. Jika aliran yang diukur berubah cepat, ukuran pipa penghubung yang diperlukan untuk meredam fluktuasi muka air pada sumur duga muka air dapat ditentukan berdasarkan prinsip-prinsip hidraulik.

Agar pengukuran debit aliran dapat dilakukan secara menerus, diperlukan alat penduga muka air yang dilengkapi dengan alat pencatat. Dengan bantuan grafik atau persamaan yang menyatakan hubungan antara tinggi muka air di atas mercu dengan besar debit aliran yang terjadi, maka pengguna dapat mengetahui fluktuasi besar debit sebagai fungsi waktu.

## 11 Cara pengukuran

Lakukan pengukuran debit dengan tahapan sebagai berikut.

### a) Tahap persiapan

- 1) Bersihkan ambang ukur dari sampah yang mungkin terangkut.
- 2) Siapkan formulir untuk pembacaan muka air.
- 3) Periksa tinggi endapan yang mungkin terjadi di udik ambang.

### b) Tahap pengukuran

- 1) Lakukan pembacaan tinggi muka air yang ditempatkan pada tabung penenang sebanyak 2 kali pengukuran.



- 2) Hasil rata-rata pengukuran dipergunakan untuk menghitung debit berdasarkan rumus yang sesuai dengan kondisi alat ukur yang digunakan.

## 12 Kalibrasi

Kalibrasi langsung di lapangan perlu dilakukan terhadap seluruh sistem supaya diperoleh ketepatan jika pada sistem alat ukur tersebut terdapat bagian-bagian yang tidak memenuhi persyaratan. Kalibrasi cukup dilakukan terhadap kelengkapan pendukung, misal alat duga muka air, asalkan sistem telah memenuhi semua persyaratan yang diuraikan pada subpasal sebelumnya.

### 12.1 Kalibrasi kelengkapan pencatat muka air

Pasang alat pengukur tinggi muka air acuan rujukan yang teliti untuk memeriksa kehandalan alat ukur muka air. Pengukuran paling tepat jika dilakukan dalam tabung penenang tinggi muka air atau pada tabung tambahan jika diperlukan. Titik 0 pada skala alat ukur acuan atau rujukan harus mengacu pada ketinggian mercu ambang.

Bandingkan tinggi muka air acuan dengan tinggi muka air yang terlihat pada alat ukur muka air. Lakukan pemeriksaan ini pada berbagai kondisi muka air. Berdasarkan data kalibrasi ini, tentukan apakah cukup diperlukan penyesuaian titik 0 atau juga diperlukan pengaturan jarak.

### 12.2 Kalibrasi sistem alat ukur secara menyeluruh

Perlu dimaklumi bahwa tidak terdapat metode kalibrasi tertentu yang dapat digunakan untuk berbagai situasi lapangan guna mengkalibrasi sistem alat ukur secara keseluruhan, jika terdapat tinggi tekan yang cukup, kalibrasi dapat dilakukan dengan membandingkannya dengan hasil pengukuran antara lain alat ukur kecepatan.

Lakukan kalibrasi pada kelengkapan pendukung misalnya alat duga muka air, secara terpisah sehingga di kemudian hari pemeriksaan kinerja hanya perlu dilakukan pada kelengkapan pendukung tersebut asalkan kondisi yang mencakup kelengkapan utama tidak berubah.

### 12.3 Ketelitian dari lengkung debit

Untuk ambang dalam kondisi baik dan memenuhi semua persyaratan pengukuran, hal-hal yang tidak tentu dalam koefisien debit,  $C_d$ , panjang dan tinggi perlu disesuaikan sebagai berikut.

- a)  $C_d$  ( untuk kontraksi penuh ),  $\pm 1\%$ ;
- b)  $C_d$  ( untuk kontraksi sebagian ),  $\pm 2\%$ ;
- c)  $\delta L$ ,  $\pm 0.0002$  m;
- d)  $\delta H$ ,  $\pm 0.0002$  m.

### 12.4 Persentase kesalahan total

Persentase kesalahan total untuk pengukuran aliran menggunakan akar kuadrat dari penjumlahan masing-masing kontribusi kesalahan yang dikuadratkan. Contoh untuk ambang standar.

$$e_t = ((e_1)^2 + (e_2)^2 + (e_3)^2)^{1/2} \quad (41)$$



**Keterangan:**

$e_t$  adalah persentase kesalahan total pengukuran

$e_1$  adalah persentase kesalahan akibat koefisien debit,  $C_d$

$e_2$  adalah persentase kesalahan dalam  $\tan \theta/2$

$e_2$  adalah persentase kesalahan pada tinggi tekan efektif, diperoleh dengan mengestimasi kombinasi dari masing-masing kontribusi untuk kesalahan pengukuran tinggi tekan dengan kesalahan 0.0002 m dalam hal penentuan tinggi tekan.





**Lampiran A**  
(informatif)  
**Contoh perhitungan dan gambar ambang tajam segitiga**

**A.1 Contoh perhitungan debit ambang tajam segitiga**

Diketahui:

Suatu saluran dengan ambang segitiga di bagian hilirnya dengan sudut  $\theta = 90^\circ$ .

lebar saluran (B) = 2,0 m

tinggi muka air terukur (h) = 0,2 m

tinggi mercu di atas dasar saluran (p) = 1,0 m

Hitung debit yang melimpas di atas mercu:

Jawab :

Periksa kondisi aliran :

$$h/p = 0,20/1,0 = 0,20 \Rightarrow \leq 0,40$$

$$h/B = 0,20/2,0 = 0,10 \Rightarrow \leq 0,20$$

$$p = 1,0 \text{ m} \Rightarrow \geq 0,45 \text{ m}$$

$$B = 2,0 \text{ m} \Rightarrow \geq 0,90 \text{ m}$$

$$h = 0,20 \text{ m} \Rightarrow 0,05 \text{ m} \leq h \leq 0,28 \text{ m}$$

Sesuai persyaratan di atas kondisi aliran adalah terkontraksi penuh.

Berdasarkan rumus (1) dan (2) dihitung debit.

$$Q = \left( \frac{8}{15} \right) \sqrt{2 \cdot g \cdot C_d} \cdot \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) (H_{ef})^{5/2}$$

$$H_{ef} = h + \delta H_t$$

$$\theta = 90^\circ \Rightarrow \delta H_t = 0,80 \text{ mm (dari grafik)}$$

$$\theta = 90^\circ \Rightarrow C_d = 0,5782 \text{ mm (dari grafik)}$$

$$H_{ef} = 0,20 \text{ m} + 0,0008 \text{ m} = 0,2008 \text{ m}$$

$$Q = \left( \frac{8}{15} \right) \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,5782} \cdot \tan \left( \frac{90}{2} \right) (0,2008)^{5/2}$$

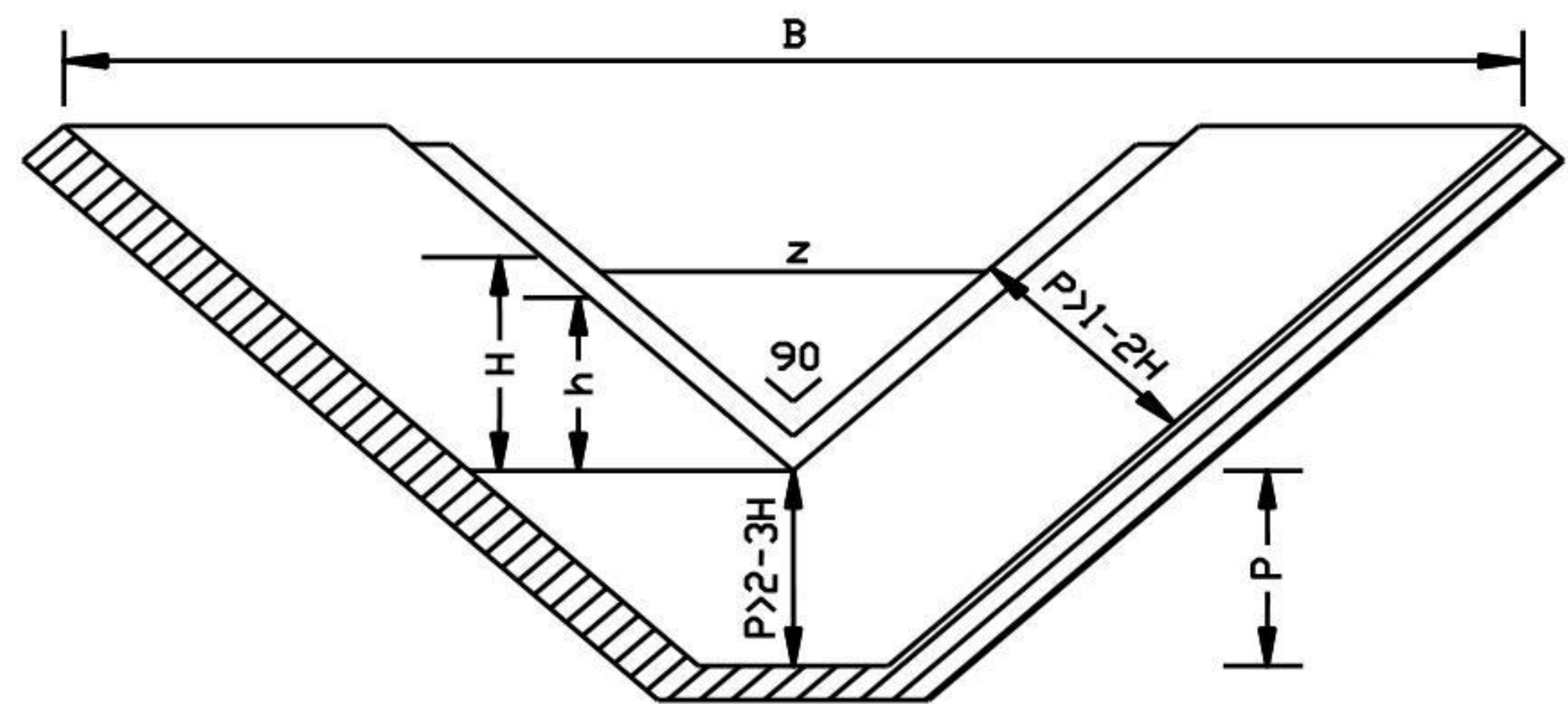
$$Q = 0,1098 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 109,80 \text{ l/s}$$

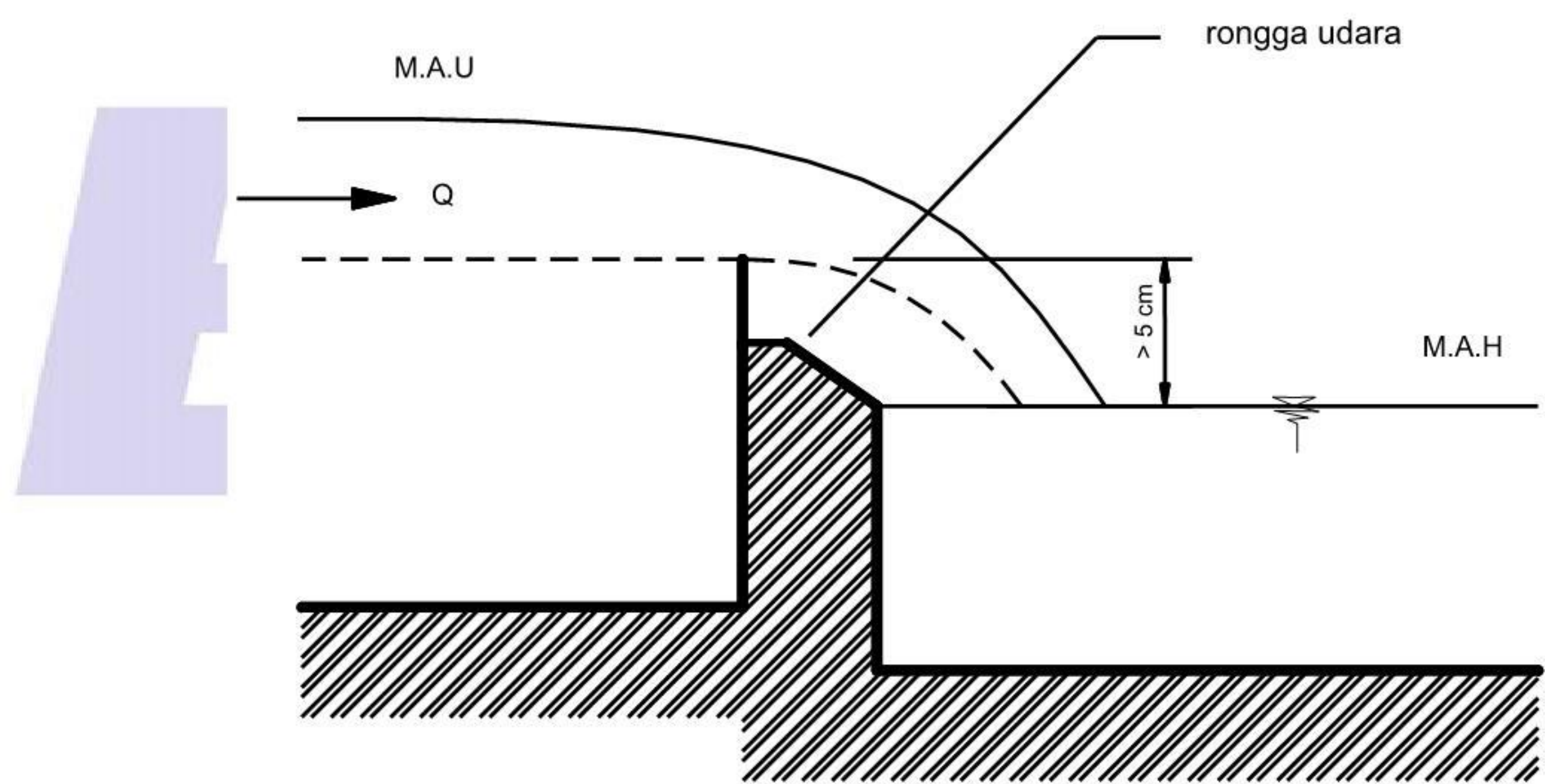
Jadi, debit yang melimpas di atas mercu ambang segitiga adalah 109,8 l/s.



A.2 Gambar ambang tajam segitiga



Gambar A.1 – Contoh bentuk potongan saluran dan mercu pelat ambang



Gambar A.2 – Contoh rongga udara di bawah pelat ambang



## Lampiran B (informatif)

### Contoh perhitungan dan gambar ambang tajam persegi panjang

#### B.1 Contoh perhitungan ambang tajam persegi panjang

Diketahui:

Suatu ambang tajam persegi panjang *Rehbock* dengan panjang bentang mercu ambang ( $b$ ) = 0,60 m, dan tinggi mercu di atas dasar saluran ( $p$ ) = 0,60 m.

Tentukan debit yang melimpas di atas ambang jika tinggi muka air ( $h$ ) yang terjadi adalah 0,40 m.

Jawab :

Periksa batasan penerapan ambang tajam :

$$h/p = 0,40/0,60 \Rightarrow < 1,0$$

$$h = 0,40 \text{ m} \Rightarrow 0,02 \text{ m} < h < 0,75 \text{ m}$$

$$b = 0,60 \text{ m} \Rightarrow > 0,20 \text{ m}$$

$$p = 0,60 \text{ m} \Rightarrow > 0,20 \text{ m}$$

Berdasarkan kondisi di atas, maka rumus *Rehbock* dapat digunakan.

Debit yang melimpas di atas ambang menggunakan rumus (7):

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot g \left( 0,602 + 0,0832 \frac{h}{p} \right) \cdot b \cdot (h + 0,00125)^{3/2}}$$

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot 9,81 \left( 0,602 + 0,0832 \frac{0,40}{0,60} \right) \cdot 0,60 \cdot (0,40 + 0,00125)^{3/2}}$$

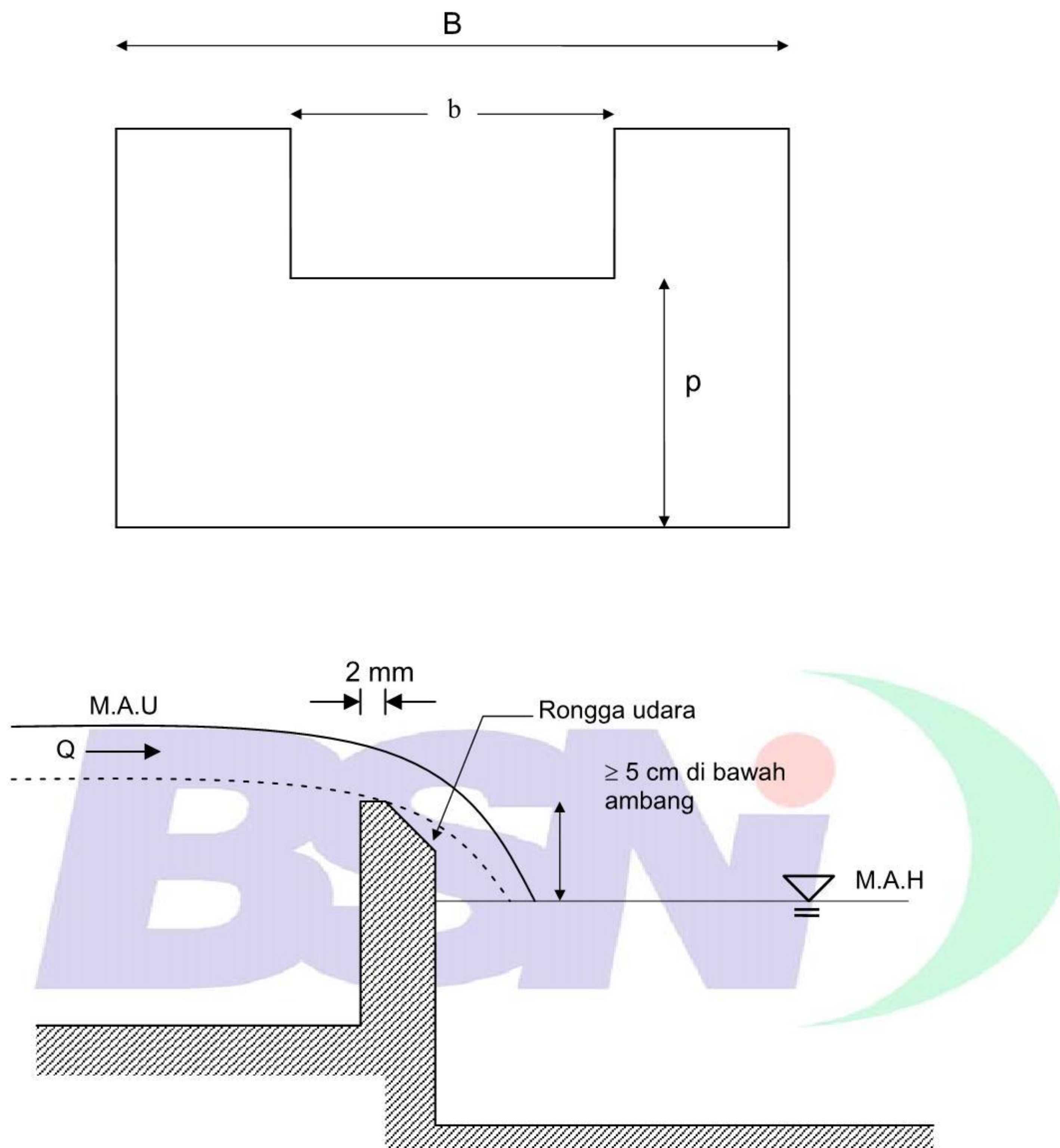
$$Q = 0,2961 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 296,10 \text{ l/s}$$

Jadi, debit yang melimpas di atas ambang adalah 296,10 l/s.



## B.2 Gambar ambang tajam persegi panjang



### Keterangan:

B adalah lebar saluran

b adalah lebar ambang persegi panjang

p adalah tinggi mercu di atas dasar saluran

Q adalah debit aliran pada saluran

**Gambar B.1 – Contoh ambang tajam persegi panjang**



**Lampiran C**  
(informatif)  
**Contoh perhitungan debit ambang lebar**

**C.1 Kondisi aliran sempurna**

Berikut ini contoh menghitung debit dan hubungan penyimpangan dalam pengukuran aliran tunggal menggunakan bangunan ukur ambang lebar untuk kondisi aliran sempurna. Tinggi ambang,  $p$ , di atas saluran pengarah 0,2 m dan pembacaan tinggi tekan  $h_1$  adalah 0,4 m. Lebar puncak ambang  $b$  dan lebar saluran pengarah sama dengan 10 m dan panjang ambang  $L$  adalah 0,5 m. Perhitungan ini diasumsikan dengan menggunakan interval 1 mm.

- a) Nilai koefisien debit  $C$  didapat dari hubungan nilai  $h_1/L = 0,8$ ;  $h_1/p = 1,222$ ; dan  $L/p = 1,667$ ; yaitu Gambar 11 didapat  $C = 1,042$ .

- 1) Untuk menghindari tegangan perubahan dan kekentalan

$$h_1 = 0,4 \geq 0,06 \text{ m}$$

$$b = 10 \text{ m} \geq 0,2$$

$$p = 0,2 \geq 0,15 \text{ m}$$

Terhindari tegangan perubahan dan kekentalan

- 2) Persyaratan kalibrasi pengukuran

$$0,1 < \frac{L}{p} < 4,0$$

$$0,1 < \frac{0,5}{0,3} < 4,0$$

$$0,1 < 1,667 < 4,0$$

$$0,1 < \frac{h_1}{L} < 1,6$$

$$0,1 < \frac{0,4}{0,5} < 1,6$$

$$0,1 < 0,8 < 1,6$$

Memenuhi persyaratan kalibrasi

- 3) Untuk menghindari ketidakstabilan muka air

$$\frac{h_1}{L} = \frac{0,4}{0,3} = 1,222 < 1,6 \dots\dots\dots \text{stabil permukaan air}$$

- b) Perhitungan debit dengan menggunakan persamaan (14) :

$$\begin{aligned} Q &= 1,705 \, b \cdot C \, h_1^{3/2} \\ &= 1,705 \times 10 \times 1,042 \times 0,4^{3/2} \\ &= 4,50 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$



- c) Menghitung penyimpangan dalam nilai Q, penyimpangan (dalam persen) dalam nilai koefisien ditentukan sebagai berikut :

$$X'_c \pm 1 \%$$

$$X''_c = \pm \left[ 1,5 + \left( \frac{h_1}{p} \right)^2 \right] = \pm 2,28 \%$$

- d) Bila diasumsikan bahwa pengukuran dilakukan terpisah unsur penyimpangan acak dalam pengukuran lebar diabaikan. Penyimpangan sistematis dalam pengukuran lebar dalam hal ini 0,01 m. Sebab itu :

$$X'_b = 0$$

$$X''_b = \pm \frac{0,01}{10} \times 100 = \pm 0,10 \%$$

- e) Besar penyimpangan sehubungan dengan pengukuran tinggi tekan tergantung pada pemilihan alat yang digunakan. Hal ini dilakukan bahwa angka nol pada alat pencatat dapat disetel pada ketepatan  $\pm 2,00$  mm. Ini adalah penyimpangan sistematis. Tidak ada penyimpangan acak sehubungan dengan kesalahan penyetelan nol, sebab penyetelan ulang ke nol, yang sebenarnya adalah sama besarnya. Sebab itu :

$$({}_1X'_{h1}) = 0$$

$$({}_1X''_{h1}) = \pm \frac{0,003}{0,4} \times 100 = \pm 0,75 \%$$

- f) Penyimpangan dalam hubungan dengan perbedaan tipe alat pengamatan elevasi alat dapat ditentukan dengan menggunakan pengujian yang hati-hati dengan pengawasan yang baik. Unsur penyimpangan acak dapat ditentukan dengan seri pembacaan taraf muka air, tetapi membedakan penyimpangan ini dari penyimpangan lain yang ada diperlukan bahwa pengujian umumnya dilakukan dengan taraf muka air naik (atau turun). Untuk alat yang digunakan dalam contoh ini, unsur penyimpangan acak dalam pengukuran taraf muka air adalah kira-kira  $\pm 1$  mm.

Penyimpangan sistematis dalam pengukuran taraf muka air disebabkan oleh terjadinya fluktuasi muka air, pemuaian pita ukur dan sebagainya. Bila mungkin, dilakukan koreksi, tetapi pengawasan pengujian untuk berbagai jenis alat ukur akan menunjukkan besarnya risiko penyimpangan sistematis. Dalam hal ini, bila digunakan alat pita pencatat digital, nilai penyimpangan adalah  $\pm 2,5$  mm.

Dengan demikian :

$$({}_2X'_{h1}) = \pm \frac{0,001}{0,4} \times 100 = \pm 0,25 \%$$

$$({}_2X''_{h1}) = \pm \frac{0,0025}{0,4} \times 100 = \pm 0,62 \%$$

- g) Kombinasi penyimpangan individu untuk memilih penyimpangan keseluruhan dalam perhitungan debit dapat dilakukan sebagai berikut.



Asumsi bahwa  $X'_m$  adalah penyimpangan diabaikan dalam pengukuran taraf muka air adalah :

$$X'_{h1} = \pm \left( X'^2_{h1} + X'^2_{h1} \right)^{\frac{1}{2}} = \pm (0 + 0,25^2)^{\frac{1}{2}} \% = \pm 0,25 \%$$

$$X'_{h1} = \pm \left( X'^2_{h1} + X'^2_{h1} \right)^{\frac{1}{2}} = \pm (0,75^2 + 0,62^2)^{\frac{1}{2}} \% = \pm 0,98 \%$$

Jumlah penyimpangan acak dalam pengukuran debit adalah:

$$X'_Q = \pm \sqrt{X'^2_C + X'^2_b + 1,5^2 X'^2_{h1}} \% = \pm \sqrt{1^2 + 0 + 2,25 \times 0,25^2} \% = \pm 1,07 \%$$

$$X''_Q = \pm \sqrt{X''^2_C + X''^2_b + 1,5^2 X''^2_{h1}} \% = \pm \sqrt{3,28^2 + 0,1^2 + 2,25 \times 0,98^2} \% = \pm 2,60 \%$$

Penyederhanaan persentase, penyimpangan acak dan sistem dapat digabung dengan jumlah akar kuadrat sebagai berikut :

$$X_Q = \pm \sqrt{X'^2_Q + X''^2_Q} \% = \pm \sqrt{1,07^2 + 2,60^2} \% = \pm 2,76 \%$$

Besar debit Q adalah  $4,50 \text{ m}^2/\text{s} \pm 2,8 \%$

Penyimpangan acak adalah  $\pm 1,07 \%$

## C.2 Kondisi aliran tidak sempurna

Aliran tidak sempurna tidak akan terjadi apabila tidak melampaui batas penyesuaian. Batas penyesuaian  $S_1$  didapat dari perbandingan terendah  $S = \frac{h_2}{h_1}$  untuk penyimpangan antara perhitungan aliran tidak sempurna dengan persamaan debit aliran sempurna dan aliran nyata adalah 1 %. Sebagai contoh :

Jika  $S < S_1$ , aliran adalah aliran sempurna

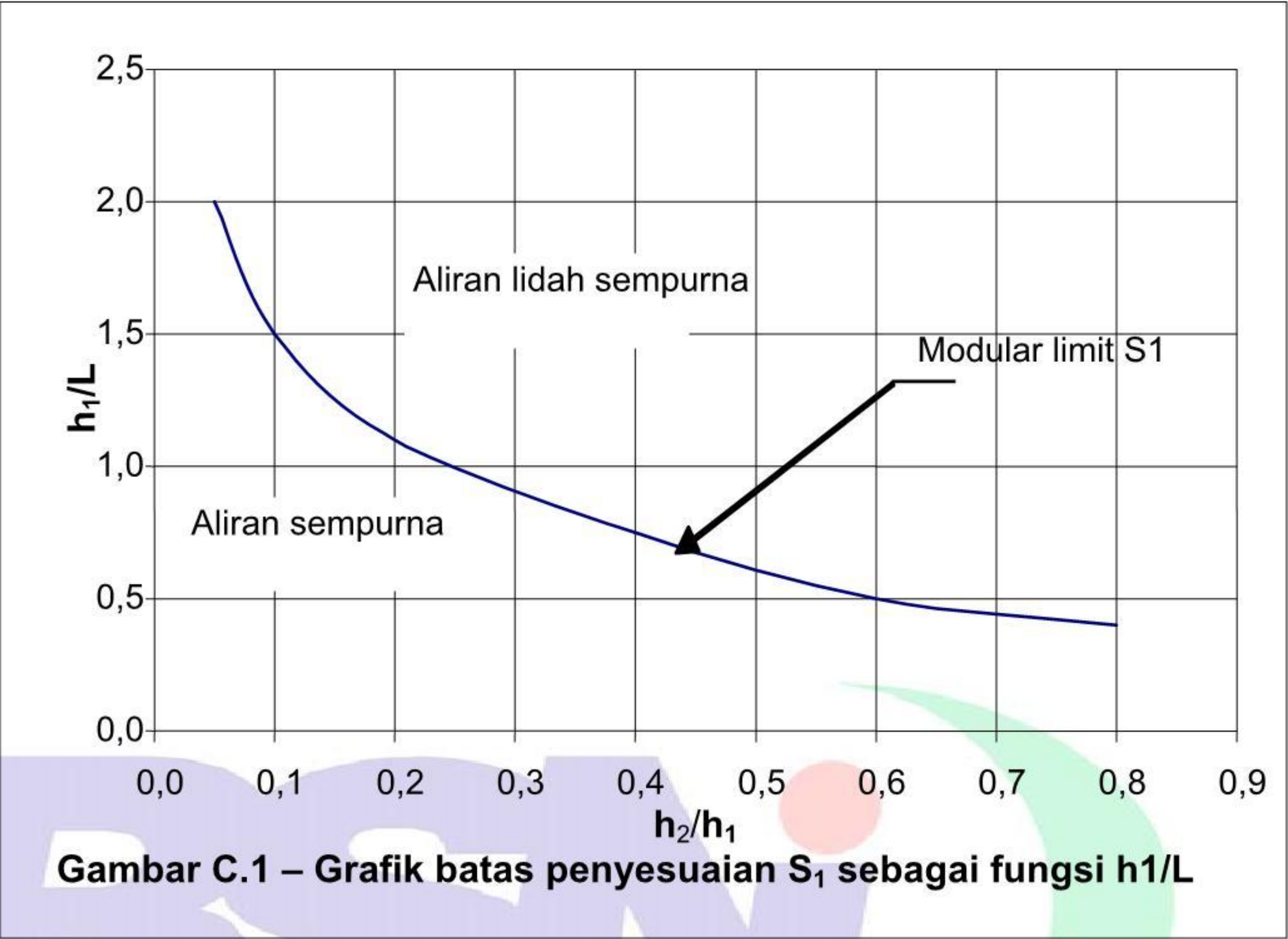
Jika  $S > S_1$ , aliran adalah aliran tidak sempurna

$h_2$  ditandai sebagai kehilangan tinggi tekan di hilir bangunan seperti di atas ambang

Grafik di bawah ini menunjukkan batas penyesuaian tergantung dari  $\frac{h_1}{p}$ . Oleh karena itu

nilai untuk  $S_1$  yang didapat dari grafik di bawah ini harus dipertimbangkan semimumimum mungkin.







**Lampiran D**  
(informatif)  
**Contoh perhitungan debit lorong Parshall**

**D.1 Contoh perhitungan lorong *Parshall***

Contoh perhitungan debit dan penyimpangan yang bersangkutan untuk pengukuran debit tunggal dengan menggunakan Lorong *Parshall* yang beroperasi dalam kondisi aliran sempurna, Lebar leher saluran  $b = 1,0$  m dan tinggi papan duga  $h_a = 0,6$  m. Dimensi lain dari lorong *Parshall* dinyatakan dalam Tabel 4 untuk *flume* nomor 8.

- a) Debit dihitung dengan memakai persamaan untuk *flume* nomor 8 pada Tabel 6.  
b) Karena penyimpangan acak dapat diabaikan, penyimpangan nilai  $Q$  hanya tergantung pada penyimpangan sistematis :

$$Q = 2,297 h_a^{1,569} = 2,297 \times 0,6^{1,569} = 1,075 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Misal : } X'_i = 1 \%$$

$$X''_c = 2 \%$$

- c) Jika diasumsikan bahwa beberapa ukuran lebar yang digunakan, maka penyimpangan acak dalam ukuran lebar mungkin dapat diabaikan. Dalam kasus ini, penyimpangan sistematis dalam ukuran lebar diasumsikan sebesar 0,01 m. Dengan demikian :

$$X'_b = 0$$

$$X''_b = \pm \frac{0,01}{1,0} \times 100 \% = \pm 1 \%$$

- d) Besaran penyimpangan yang menyangkut alat ukur tinggi tekan air berhubungan dengan alat khusus yang digunakan. Telah diperagakan bahwa angka nol pada papan duga pencatat tinggi tekan air dapat diatur pada ketelitian  $\pm 0,002$  m. Ini merupakan penyimpangan sistematis. Tidak terdapat penyimpangan acak yang berhubungan dengan angka nol karena sampai angka nol diatur kembali, angka nol yang sebenarnya mempunyai besaran dan tanda yang sama. Oleh sebab itu :

$$X'_{ho} = 0$$

$$X''_{ho} = \pm \frac{0,003}{h_a} \times 100 \% = \pm \frac{0,003}{0,6} \times 100 \% = \pm 0,5 \%$$

- e) Penyimpangan yang berhubungan dengan tipe peralatan pengamatan muka air yang berbeda dapat ditentukan dengan pengujian saksama dalam kondisi yang terkontrol. Komponen penyimpangan acak dapat ditentukan dengan melakukan serangkaian bacaan pada tinggi muka air tertentu. Akan tetapi untuk membedakan penyimpangan ini dari sumber-sumber penyimpangan lain, perlu bahwa bacaan-bacaan ini dapat dilaksanakan dengan tinggi muka air yang selalu naik (atau turun). Untuk peralatan yang digunakan dalam contoh ini deviasi standar angka diasumsikan sama dengan  $S_h = 0,002$  m. Penyimpangan sistematis dalam pengukuran tinggi muka air terjadi karena adanya reaksi, pemuaian pita dll. Jika mungkin, perlu dilakukan koreksi tetapi pengujian untuk mengontrol tipe-tipe peralatan tertentu akan menyatakan besaran penyimpangan sistematis residual. Dalam hal ini, jika digunakan pencatat tinggi muka air maka nilai adalah kira-kira  $\pm 0,0025$  m. Dengan demikian :

$$S_h = 0,002 \text{ m}$$

$$2 S_h = 0,006 \text{ m}$$

$$X'_h = \pm \frac{2S_h}{h} \times 100 \% = \pm \frac{0,006}{0,6} \times 100 \% = \pm 1 \%$$



$$X'_h = \pm \frac{0.0025}{0.6} \times 100 = \pm 0,42 \%$$

- f) Perpaduan penyimpangan individual untuk mendapatkan penyimpangan tinggi tekan air menyeluruh dilakukan sebagai berikut :

Buatlah asumsi bahwa  $X'_{ho}$  dapat diabaikan, maka penyimpangan pada pengukuran tinggi muka air adalah :

$$X''_{ha} = \pm (X'^2_{ho} + X'^2_h)^{1/2} = \pm (0 + 1^2) = \pm 1\%$$

dan

$$X''_{ha} = \pm (X''^2_{ho} + X''^2_h)^{1/2} = \pm (0,5^2 + 0,42^2) = \pm 0,65\%$$

- g) Perpaduan penyimpangan individual untuk mendapatkan penyimpangan debit secara menyeluruh dilakukan sebagai berikut :

Persentase total penyimpangan acak pada pengukuran debit adalah

$$X'_Q = \pm (X'^2_c + y^2 X'^2_b + n^2 X'^2_{ha})^{1/2} = \pm (1^2 + 0 + 1,569^2 \times 1^2) = \pm 1,86 \%$$

Persentase total penyimpangan sistematik pada debit adalah

$$X''_Q = \pm (X''^2_c + y^2 X''^2_b + n^2 X''^2_{ha})^{1/2} = \pm (2^2 + 1,05^2 \times 1^2 + 1,569^2 \times 0,65^2) = \pm 2,24 \%$$

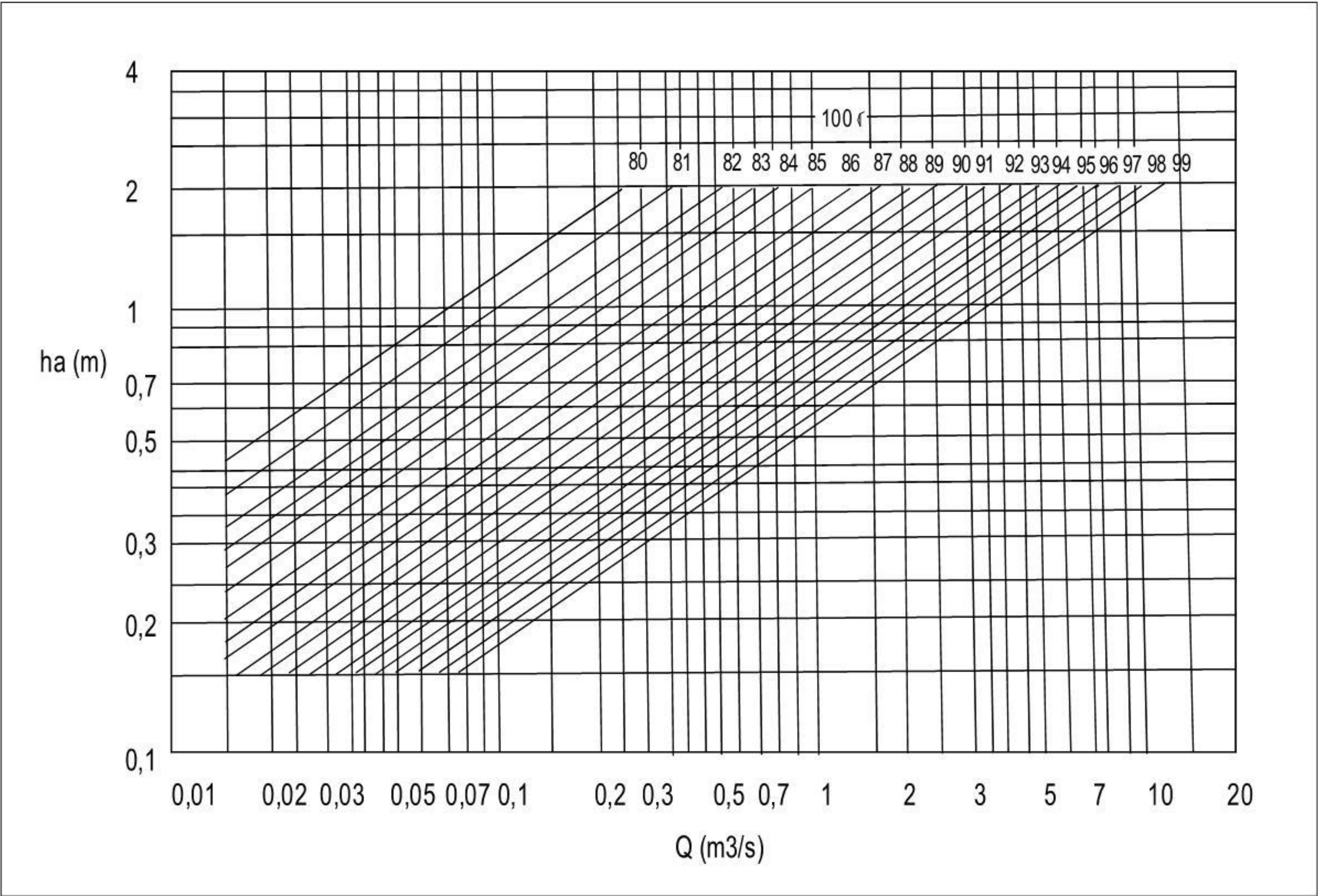
- h) Untuk memudahkan penyajian, penyimpangan acak dan sistematik dapat digabung dengan rumus sebagai berikut :

$$X_Q = \pm (X'^2_Q + X''^2_Q)^{1/2} = \pm (1,86^2 + 2,24^2)^{1/2} = \pm 2,82 \%$$

Oleh sebab itu, debit  $Q$  adalah  $1,075 \text{ m}^3/\text{s} \pm 2,82\%$  atau  $(0,024 < Q < 1,12) \text{ m}^3/\text{s}$ ,  
Persentase penyimpangan acak adalah :  $\pm 1,86\%$ .



D.2 Grafik koreksi debit lorong *Parshall*



Gambar D.1 – Contoh grafik koreksi debit lorong *Parshall*



## Lampiran E (informatif)

### Contoh perhitungan debit bangunan ujung hulu bulat

Berikut ini merupakan contoh perhitungan debit dan kaitannya dengan ketidakpastian pengukuran tunggal pada ambang dengan tinggi mercu,  $p = 1$  m di atas dasar saluran pengarah dan pengoperasian tinggi muka air,  $h = 0,67$  m, lebar ambang,  $b = 10$  m dan panjang mercu,  $L = 2$  m. Sepuluh pembacaan tinggi muka air secara berurutan memberikan deviasi standar terhadap rata-rata  $S_h = 1$  mm.

Debit dihitung menggunakan persamaan (25) Nilai dari koefisien debit  $C_D$  ditentukan dari persamaan (40a), yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_D &= \left(1 - \frac{0.006L}{B}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{\frac{3}{2}} \\ &= \left(1 - \frac{0.006 \times 2}{10}\right) \left(1 - \frac{0.003 \times 2}{0,67}\right)^{\frac{3}{2}} \\ &= 0.9853 \end{aligned}$$

$$C_D \cdot b \cdot h / A = 0,9852 \times 10 \times 0,67 / (10 \times 1,67) = 0,295$$

menghasilkan  $C_v = 1,028$

Dengan menggunakan persamaan (26):

$$\begin{aligned} Q &= \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} C_D \cdot C_v \cdot b \cdot \sqrt{g \cdot h^{\frac{3}{2}}} \\ &= \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} 0,9853 \times 1.038 \times 10 \times \sqrt{9,8 \times 0,67^{\frac{3}{2}}} \\ &= 9,56 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Untuk menghitung ketidakpastian nilai  $Q$ , (dalam persen) nilai koefisien debit terlebih dahulu ditentukan, yaitu sebagai berikut :

$$X'_c = \pm 1 \%$$

$$\begin{aligned} X''_c &= \pm \left(2 + 0,15 \frac{L}{h}\right) \\ &= \pm \left(2 + 0,15 \frac{2}{0,67}\right) \\ &= \pm 2,45\% \end{aligned}$$

Jika dianggap bahwa beberapa pengukuran lebar dilakukan, komponen ketidakpastian acak dari pengukuran lebar dapat diabaikan. Ketidakpastian sistematis dari pengukuran lebar dalam hal ini diambil 0,01 m. Oleh karena itu,

$$X'_b = 0$$



$$X''_b = \pm \frac{0,01}{10} \times 100 = \pm 0,10\%$$

Besaran ketidakpastian yang berkaitan dengan alat ukur tinggi muka air tergantung pada jenis peralatan yang dipakai. Telah ditunjukkan bahwa datum nol pada alat perekam digital dapat disetel dengan ketelitian  $\pm 2$  mm. Ini merupakan ketidakpastian sistematis. Dalam kasus ini tidak terdapat ketidakpastian acak yang berhubungan dengan kesalahan datum nol karena, sampai datum nol ditetapkan ulang, datum nol sebenarnya mempunyai nilai dan tanda yang sama. Oleh karena itu,

$${}_1X'_h = 0$$

$${}_1X''_h = \pm \frac{0,003}{0,67} \times 100 = 0,45\%$$

Ketidakpastian yang berhubungan dengan perbedaan jenis-jenis peralatan pengamatan muka air dapat ditentukan dengan uji coba secara hati-hati dalam kondisi terkontrol. Komponen ketidakpastian acak dapat ditentukan dengan melakukan pembacaan berturut-turut terhadap tinggi muka air. Akan tetapi, untuk membedakan ketidakpastian ini dengan sumber ketidakpastian lain, perlu pengujian pembacaan tinggi muka air yang dilakukan dengan kondisi muka air yang selalu naik (atau turun). Untuk alat ukur yang digunakan dalam contoh ini, komponen ketidakpastian acak dalam pengukuran tinggi muka air adalah  $\pm 1$  mm. Ketidakpastian sistematis dalam pengukuran tinggi muka air terjadi karena pengaruh balik, (*backlash*), pemanjangan pita ukur, dan lain-lain. Bila memungkinkan, koreksi perlu dilakukan, tetapi uji kalibrasi terhadap tipe alat tertentu akan menunjukkan besaran ketidakpastian sistematis. Dalam hal ini, hila digunakan alat perekam digital besarnya  $\pm 2,5$  mm. Oleh karena itu,

$${}_2X'_h = \pm \frac{0,001}{0,67} \times 100 = 0,15\%$$

$${}_2X''_h = \pm \frac{0,0025}{0,67} \times 100 = 0,37\%$$

Kombinasi dari ketidakpastian individual untuk mendapatkan ketidakpastian total dalam debit dapat dilakukan sebagai berikut :

Bila dimisalkan bahwa  $X'_m$  diabaikan, ketidakpastian pengukuran tinggi muka air adalah :

$$X'_h = \pm \left( {}_1X'^2_h + {}_2X'^2_h \right)^{\frac{1}{2}} = \pm \left\{ 0 + (0,15)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \pm 0,15\%$$

$$X''_h = \left( {}_1X''^2_h + {}_2X''^2_h \right)^{\frac{1}{2}} = \pm \left\{ (0,45)^2 + (0,37)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \pm 0,58\%$$

Ketidakpastian acak total pada pengukuran debit

$$X'_Q = \pm \left( X_c'^2 + X_b'^2 + 1,5^2 X_h'^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \pm \left( 1^2 + 0 + 2,25 \times 0,15^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \pm 1,02\%$$

Ketidakpastian sistematis total pada pengukuran debit

$$X''_Q = \pm \left( X_c''^2 + X_b''^2 + 1,5^2 X_h''^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \pm \left( 2,45^2 + 0,1 + 2,25 \times 0,15^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \pm 2,60\%$$

Untuk memberikan gambaran sederhana, ketidakpastian acak dan sistematis dapat digabungkan dengan metode akar dari jumlah kuadrat sebagai berikut.

$$X_Q = \pm \left( X_Q'^2 + X_Q''^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \pm \left( 1,02^2 + 2,60^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \pm 2,79\%$$

Oleh karena itu, laju aliran Q adalah  $9,56 \text{ m}^2/\text{s} \pm 2,8\%$ . Ketidakpastian acak adalah  $\pm 1,02\%$ .



## Bibliografi

*ASTM D 5242-92, Standard Test Methods for Open-Channel Flow Measurement of water with Thin-Plate Weirs.*

*ISO 772, Liquid Flow Measurement in Open Channels Vocabulary and Symbols.*

*ISO 2846, Liquid Flow Measurement in Open Channels by Weirs and Flume Rectangular Broad Crested Weirs.*

*ISO 1100-1, Liquid Flow Measurement in Open Channels - Part 1 (Establishment and Operation of a Gauging Station.*

*ISO 5168, Measurement of Fluid Flow Estimation of Uncertainty of a Flow Rate Measurement.*

Ackers P, White W.R., Perkins J.SA. and Harrison A.J.M. (1978), *Weirs and Flumes for Flow measurement*

*Discharge Measurement Structures*, Publication 20 (1978), International Institute for Land Reclamation and Improvement, Delft Hydraulic Laboratory, University of Agriculture, Departement of Hydraulics and Irrigation